Gouvernement du Canada
Government of Canada

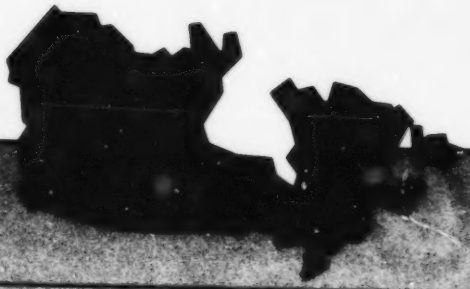
Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Possibilités de répercussions du transport à distance des polluants atmosphériques sur les forêts canadiennes

Rapport préparé à la suite d'un sondage d'opinion scientifique

G.A. Fraser, W.E. Phillips, G.W. Lamble, G.D. Hogan et A.G. Teskey

Rapport d'information E-X-36F
Direction de l'économie, Service canadien des forêts



86-0888/

Service canadien des forêts
Gouvernement du Canada

Le Service canadien des forêts (SCF) réunit la majorité des spécialistes fédéraux en foresterie. Son objectif général est de promouvoir l'aménagement et l'utilisation judicieux des ressources forestières du Canada pour le plus grand bien économique, social et environnemental des Canadiens.

Voici les principales fonctions du SCF:

1. Coordonner les politiques fédérales afin de favoriser l'amélioration de la gestion des ressources et l'expansion de l'industrie forestière.
2. Fournir une orientation scientifique et technologique dans le domaine de la foresterie, par la recherche et le développement.
3. Fournir et analyser les statistiques et l'information nationales et internationales qui serviront à établir les politiques.
4. Mettre au point et homologuer des codes et des normes en matière de rendement des produits du bois.
5. Protéger les forêts canadiennes en luttant contre les ravageurs étrangers.
6. Parrainer l'utilisation éventuelle des ressources forestières pour la production d'énergie.
7. Atteindre les objectifs environnementaux du Service canadien des forêts.

Divers organismes fédéraux participent aux programmes forestiers, et un comité de la strategie forestière fédérale a été créé pour coordonner les activités fédérales en matière de foresterie. Le SCF a été désigné organisme directeur.

Le Service canadien des forêts comprend une administration centrale, six centres de recherche forestière et deux instituts nationaux. Les centres de recherche forestière doivent répondre aux impératifs régionaux et entretenir une liaison étroite avec les ministères provinciaux des Forêts. Ils participent également à des programmes nationaux dont ils assument fréquemment la direction. Les instituts nationaux sont les foyers des programmes d'envergure nationale.

Possibilités de répercussions du transport à distance des polluants atmosphériques sur les forêts canadiennes

Rapport préparé à la suite d'un sondage d'opinion scientifique

par

G.A. Fraser
W.E. Phillips
G.W. Lamble
G.D. Hogan
A.G. Teskey

Rapport d'information E-X-36F

Service canadien des forêts
Université de l'Alberta

1985

Résumé

L'incidence sur les forêts canadiennes du transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA) est incertaine. Pour obtenir une réponse scientifique définitive, il faudra faire des recherches intensives qui s'étendront sur plusieurs années. Dans l'intérim, cette étude jette une lumière appréciable sur ses répercussions potentielles. À l'aide d'une série de quatre questionnaires successifs, on a obtenu l'opinion des experts sur la nature et l'importance d'une altération éventuelle de la productivité forestière ou d'autres effets possibles du TADPA sur cette productivité, selon diverses hypothèses de pollution. Les résultats constituent une image réaliste du risque pour les forêts canadiennes que présentent les niveaux actuels ou futurs de pollution.

Abstract

The effect of the long range transport of air pollutants (LRTAP) on forests is uncertain. A definitive scientific answer will require extensive scientific research over a period of years. In the interim, this study sheds considerable light on the potential effects. Using an iterative series of four questionnaires, expert opinion was solicited on the nature and extent of forest productivity change and the likelihood of alternative forest productivity effects under several different pollution scenarios. The results provide a realistic picture of the risk to Canadian forests from present and potential future levels of pollution.

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985

N° de catalogue Fo29-7/36F
ISBN 0-662-93310-9
ISSN 0705-3282

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus sans frais à l'adresse suivante:

Centre de distribution
Environnement Canada
151, Jean-Proulx
Hull (Québec)
K1A 1C7

This publication is also available in English under the title *Potential Impact of Long Range Transport of Air Pollutants on Canadian Forests.*

Fraser, G.A.; Phillips, W.E.; Lamble, G.W.; Hogan, G.D.; Teskey, A.G. 1985. Possibilités de répercussions du transport à distance des polluants atmosphériques sur les forêts canadiennes. Gouvernement du Canada, Service canadien des forêts. Rapp. d'inf. E-X-36F.

Table des matières

Préface			7
Sommaire de gestion			8
I.	**Introduction**		10
II.	**Méthodologie**		12
	A.	Technique de sondage	12
	B.	Organisation du sondage et méthode de sélection des participants	12
	C.	Déroulement du sondage	13
III.	**Résultats du sondage**		15
	A.	Caractéristiques des répondants et taux de réponse	15
	B.	Définition des problèmes et des facteurs	16
	C.	Estimation de l'incidence du TADPA sur la productivité forestière actuelle	17
		1. Probabilités que la productivité forestière ait été modifiée par les niveaux récents de TADPA	17
		2. Probabilités de modification de la productivité attribuable à divers processus	18
		3. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière attribuable au TADPA au cours des dernières années	18
		4. Estimation de la sensibilité des essences d'arbres au TADPA	20
	D.	Estimation de l'évolution future des niveaux de polluants clés, selon les régions	21
	E.	Estimation des répercussions de l'augmentation du TADPA sur la productivité forestière des années à venir	22
		1. Probabilités de modification de la productivité forestière	22
		2. Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus	23
		3. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière	24
	F.	Estimation des répercussions du maintien ou de la diminution des niveaux de TADPA sur la productivité forestière des années à venir	25
		1. Probabilité de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA	26
		2. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA	27
		3. Probabilités de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA	28

	4. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA	28
IV.	**Sommaire et conclusions**	30
	Annexe A	32
	Annexe B	33
	Annexe C	46

Liste des tableaux accompagnant le texte

1.	Groupement des répondants par catégorie d'employeur	15
2.	Groupement des répondants par domaine de compétence professionnelle	15
3.	Groupement des répondents par secteur de compétence géographique	15
4.	Nombre de répondants à chacun des questionnaires	15
5.	Probabilités moyennes que la productivité forestière actuelle ait été modifiée par les niveaux récents de TADPA	17
6.	Probabilités que la productivité forestière actuelle ait été modifiée par différents processus	19
7.	Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière attribuable au TADPA, 1974–1984 et 1954–1984	19
8.	Sensibilité estimative des essences résineuses au TADPA	20
9.	Sensibilité estimative des essences feuillues au TADPA	20
10.	Estimation du pourcentage de modification des niveaux de pollution, 1984–1994 et 1984–2014	21
11.	Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière attribuable à l'augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014	22
12.	Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus, avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994	23
13.	Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus, avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–2014	24
14.	Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014	25
15.	Estimation de la répartition des formes de diminution de la productivité forestière entre la mortalité des forêts et la réduction de croissance, en 1994 et en 2014	26
16.	Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014	27

17. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 27

18. Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 28

19. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 29

20. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière passée et future attribuable au TADPA, selon différentes hypothèses de pollution 30

Liste des tableaux accompagnant les annexes

B1. Probabilités que la productivité forestière actuelle ait été modifiée par les niveaux récents de TADPA 33

B2. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région de l'Atlantique, 1984–1994 et 1984–2014 37

B3. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région du Québec et de l'Ontario, 1984–1994 et 1984–2014 37

B4. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest, 1984–1994 et 1984–2014 38

B5. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon, 1984–1994 et 1984–2014 38

B6. Probabilités de modification de la productivité forestière dans la région de l'Atlantique avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014 39

B7. Probabilités de modification de la productivité forestière dans la région du Québec et de l'Ontario, avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014 40

B8. Probabilités de modification de la productivité forestière dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest, avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014 41

B9. Probabilités de modification de la productivité forestière dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon, avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014 42

B10. Probabilités de diminution de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 43

B11. Probabilités de maintien de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 43

B12. Probabilités d'augmentation de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 44

B13. Probabilités de diminution de la productivité forestière avec une diminution du TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 44

B14. Probabilités de maintien de la productivité forestière avec une diminution du TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 45

B15. Probabilités d'augmentation de la productivité forestière avec une diminution du TADPA, 1984–1994 et 1984–2014 45

Figure

1. Déroulement du projet 14

Le projet de sondage a été entrepris par la Direction générale des politiques, de la planification et de l'économie du Service canadien des forêts (SCF). L'idée avait été lancée par Doug Ketcheson, directeur de l'Économie, qui a d'ailleurs accordé un soutien inestimable à l'équipe tout au long du sondage. Une *équipe de mise en oeuvre* était chargée d'établir l'orientation du sondage, d'interpréter les résultats et de préparer le rapport final. Cette équipe comprenait MM. Wayne Lamble et William Phillips de l'University of Alberta (spécialistes des techniques de sondage Delphi et de l'analyse quantitative) dont on a retenu les services pour qu'ils aident à la conception, à l'essai, à la mise en oeuvre du sondage et à la préparation du rapport, de même que M. Gary Hogan du SCF (Centre de recherches forestières des Grands lacs) qui a fait profiter l'équipe de ses connaissances techniques dans le domaine des interactions entre la pollution atmosphérique et les forêts. Les deux autres membres de l'équipe étaient MM. G. Alex Fraser et Alan G. Teskey, du SCF (Direction de l'économie) qui étaient chargés de l'administration du sondage.

Un *groupe de travail* composé d'employés de la Direction de l'économie du SCF assurait les services de fonctionnement quotidien. Les services de programmation informatique et d'introduction de données ont été fournis par Russell Robinson et les services de traduction par Diane Gratton. La dactylographie et la présentation des questionnaires étaient assurées par Linda Maass et Karen Cheslock. Le traitement de texte et la reproduction du rapport final ont été exécutés à l'University of Alberta, où les services ont été fournis par Judy Warren et Jim Copeland du Département d'économie rurale. C'est Reg Norby, du même département, qui s'occupait des services administratifs.

Bien que toutes les personnes mentionnées aient apporté une importante contribution au processus, la plus remarquable a certainement été celle des répondants. Malgré des horaires extrêmement chargés et les tensions créées par leurs autres obligations, tous les répondants ont consacré énormément de temps et d'efforts au sondage. Nous espérons que l'information qui a pu en être tirée constituera une récompense valable.

La nature et l'importance des modifications de la productivité forestière, causées par le transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA), sont incertaines. Bien qu'en Allemagne de l'Ouest des preuves circonstancielles désignent le TADPA comme une des principales causes du déclin de la forêt dans ce pays, aucune information précise ne prouve que ce lien néfaste existe réellement. En Amérique du Nord, les indices sont encore moins évidents. Les niveaux des polluants sont en général plus bas et leur composition diffère considérablement de celles d'Europe centrale. Les niveaux actuels et futurs de TADPA en Amérique du Nord peuvent-ils, oui ou non, affecter la productivité forestière? Il faudrait entreprendre des recherches scientifiques exhaustives échelonnées sur de nombreuses années pour apporter une réponse définitive à cette question.

Malheureusement, on ne peut impunément attendre les résultats des études scientifiques avant de prendre des décisions sur le contrôle de la pollution. Si le TADPA cause des dommages irréversibles aux forêts, les résultats seraient connus trop tard. L'inaction pourrait entraîner des pertes sociales et environnementales importantes. En l'absence de preuves concluantes, la meilleure solution est d'obtenir des opinions et des jugements éclairés sur l'étendue des dommages qui peuvent être causés et le degré de risque que comporte l'inaction. Le but de cette étude était de recueillir systématiquement et d'analyser l'opinion éclairée des spécialistes de la question. Il s'agit plus exactement d'un groupe de 39 chercheurs scientifiques choisis par leurs pairs, à qui on a demandé de répondre à une série de questionnaires soigneusement préparés et complétés par des résumés d'information et d'opinions, à titre de feedback. Chaque membre du groupe est un spécialiste reconnu d'un ou de plusieurs des domaines suivants: sciences atmosphériques, interaction entre le sol et les polluants atmosphériques ou interaction entre la végétation et ces polluants.

Cette enquête a permis de recueillir des opinions sur la probabilité et l'importance des modifications passées et futures de la productivité forestière canadienne causées par le TADPA, ainsi que sur les processus par lesquels se produisent ces modifications. Les estimations historiques ont porté sur la dernière et les trois dernières décennies. Les prédictions des modifications futures de cette productivité envisageaient la prochaine et les trois prochaines décennies selon trois scénarios, à savoir l'augmentation, le maintien ou la diminution des niveaux de pollution. Les résultats étaient divisés selon quatre régions: l'Atlantique, l'Ontario et le Québec, les Prairies et les Territoires du Nord-Ouest, la Colombie-Britannique et le Yukon.

A. Estimation de l'incidence du TADPA sur la productivité forestière actuelle

Les spécialistes ont été appelés à évaluer les possibilités qu'il y ait eu augmentation, diminution ou maintien de la productivité forestière *actuelle*, compte tenu de récents niveaux de TADPA. Les résultats indiquent des probabilités à peu près égales qu'il y ait eu une diminution ou un maintien de la productivité forestière des régions de l'Atlantique, du Québec et de l'Ontario. D'autre part, il est improbable qu'il y ait eu augmentation de la productivité à cause des effets fertilisants de la pollution. Dans l'Ouest, le maintien de la productivité forestière est donné comme le plus probable. Les répondants ont été appelés à compléter leurs réponses en évaluant l'amplitude des modifications de la productivité forestière. Ils ont estimé, en moyenne, que pour les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario la baisse de productivité causée par le TADPA était, respectivement, de l'ordre de 3 et 5 % pour la dernière décennie et de 5 et 7 % pour les trois dernières. Selon leurs estimations, il n'y aurait aucune modification majeure de la productivité forestière dans l'ouest du Canada au cours de ces périodes.

B. Estimation de l'incidence du TADPA sur la productivité forestière future en cas d'augmentation des niveaux de pollution

Les spécialistes ont été appelés à prédire quels seraient les niveaux futurs de pollution en l'absence de modification des règlements, et leurs réponses ont servi à établir le scénario d'augmentation de pollution qui a été analysé. En cas d'augmentation des niveaux, les réponses indiquent une grande probabilité de diminution de la productivité forestière des régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario au cours de la prochaine décennie et après. L'augmentation ou le maintien de productivité forestière sont cotés comme peu probables. La baisse moyenne de productivité estimée par les scientifiques dans l'est du Canada se situe entre 8 et 11 % pour les trois prochaines décennies. Quant à l'Ouest, même s'il était soumis à des conditions aussi rigoureuses, le maintien de la productivité forestière est considéré comme probable. Toutefois, quand il s'est agi d'estimer la magnitude de la modification, les réponses moyennes exprimaient une baisse significative du point de vue statistique d'environ 2 % au cours des trois prochaines décennies.

C. Estimation de l'incidence du TADPA sur la productivité forestière en cas de diminution ou de maintien des niveaux de pollution

Ces deux scénarios prévoient que le gouvernement entreprendra des mesures de réglementation pour limiter l'augmentation des niveaux de pollution. Dans le cas du maintien des niveaux de pollution, les résultats de l'enquête montrent qu'il y aurait quand même une forte probabilité de diminution de la productivité forestière au cours de la prochaine décennie et après dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario. Comme dans le premier scénario, c'est la maintien de la productivité qui est considéré comme le plus probable dans l'Ouest. Au sujet de la magnitude de cette incidence du TADPA, les réponses expriment en moyenne un pourcentage important, quoique moins élevé, de baisse de productivité forestière dans l'est du Canada, alors que dans l'Ouest la baisse prévue est peu importante, bien que significative du point de vue statistique.
Le dernier scénario analysé pose en hypothèse une réduction de 50 % des niveaux de pollution pour la prochaine décennie, puis d'une stabilisation par la suite. Dans ce cas, les réponses indiquent qu'il y aurait maintien de la productivité forestière dans chaque région. Dans l'est du Canada, l'augmentation de la productivité forestière est même le choix qui vient en second. Pour ce qui est de la magnitude du changement, les réponses moyennes n'indiquent aucune modification significative du point de vue statistique pour l'ensemble des régions.

* * * * *

Les résultats de l'étude doivent être interprétés avec prudence, car ils constituent des opinions et non des preuves sur les effets présents et futurs du TADPA sur les forêts canadiennes. Néanmoins, les participants à cette étude formaient un groupe choisi de scientifiques canadiens et américains parmi les plus reconnus pour leurs connaissances dans ce domaine particulier de recherche. Par conséquent, leurs opinions constituent le jugement le plus averti de la collectivité scientifique, compte tenu du peu d'information reçue à ce sujet, sur la probabilité et l'amplitude des répercussions du TADPA sur la productivité forestière. Comme tels, ces résultats décrivent de façon réaliste la «menace» qui plane sur les forêts canadiennes, menace dont il faut souligner l'importance en rappelant quelques conclusions importantes:

a) Une baisse importante de la productivité forestière des régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario est peut-être déjà amorcée.
b) En l'absence de mesures publiques de contrôle visant à réduire l'augmentation des niveaux de pollution, il est estimé que les baisses de production s'intensifieront dans l'est du Canada et s'étendront à l'Ouest.
c) Si des mesures publiques de contrôle de la pollution maintiennent les niveaux de pollution à leur taux actuel, une diminution importante de la productivité forestière peut quand même survenir.
d) Si des mesures publiques de contrôle de la pollution réduisent les niveaux de polluants de 50 % au cours de la prochaine décennie, aucun déclin de la productivité forestière n'est prévu dans l'une ou l'autre des régions.

I. Introduction

Depuis de nombreuses années, on sait qu'il existe un lien entre la pollution atmosphérique et les dommages causés aux forêts. Depuis les années 40, des études réalisées à proximité des sources ponctuelles de pollution, telles que les fonderies ou les centrales thermiques, ont révélé que ces sources avaient de nombreux effets négatifs directs sur la végétation, amenant un accroissement du taux de mortalité des arbres et une baisse du taux de croissance des peuplements subsistants[1]. Cependant, ces études portent sur des niveaux élevés de substances polluantes, ayant des effets sur une superficie relativement limitée à proximité d'une source de pollution. On dispose de beaucoup moins d'information sur les effets des niveaux plus faibles de substances polluantes qui se répandent sur une région géographique beaucoup plus étendue. Des dommages importants et inexpliqués subis récemment par de nombreuses forêts européennes (plus particulièrement en Allemagne de l'Ouest) ont suscité bien des préoccupations[2]. On a donc consacré beaucoup d'efforts à trouver la cause de cette baisse de productivité forestière et, bien que les résultats soient encore peu concluants, certaines indications permettent de désigner la pollution atmosphérique comme principale cause[3].

Dans le contexte canadien, les résultats européens sont peu applicables. En Amérique du Nord, les niveaux des substances polluantes sont généralement inférieurs et le mélange de substances est très différent de celui de l'Europe centrale[4]. Par ailleurs, les résultats de certaines études suédoises et américaines suscitent quelques inquiétudes. En effet, ces études de conditions forestières et environnementales qui se rapprochent davantage de celles du Canada indiquent que la diminution de la croissance forestière et la réduction de certaines essences pourraient être liées à la pollution[5].

Il faut bien comprendre cependant que l'état actuel des connaissances est incertain. Les études en laboratoire montrent que les dépôts acides peuvent avoir des effets bénéfiques, nocifs ou impossibles à déceler sur les forêts, selon l'essence étudiée, le genre de sol, les conditions de l'expérience et une multitude d'autres facteurs[6]. Ainsi, les études sur le terrain en vue de relier aux niveaux de pollution les changements survenus à la croissance des arbres n'ont pas donné de résultats concluants[7]. Il n'existe tout simplement pas d'information appropriée prouvant l'existence d'un lien entre le *transport à distance des polluants atmosphériques* (TADPA) et la diminution de la croissance forestière[8]. Il faudrait donc de nombreuses recherches scientifiques pour déterminer les mécanismes par lesquels les polluants agissent sur les forêts, ainsi que leurs répercussions sur la productivité forestière. À cette fin, des programmes de recherches intensives ont été entrepris dans un certain nombre de pays, y compris les États-Unis et le Canada. Malheureusement, la complexité des problèmes est telle qu'il faudra probablement de nombreuses années avant d'obtenir des réponses satisfaisantes.

Pour ce qui est de la formulation des politiques publiques concernant la lutte contre la pollution, il serait de mauvais aloi d'attendre des résultats concluants avant de prendre des mesures. Si le TADPA cause des dommages graves irréversibles aux forêts, les conclusions des recherches pourraient arriver trop tard. Refuser de prendre des mesures dès maintenant risque de provoquer des pertes sociales et environnementales substantielles. Bien que la recherche scientifique ne soit pas suffisamment avancée pour donner des réponses définitives pour le moment, il existe quand même une somme considérable d'information qui peut être recueillie sous forme de jugements et d'opinions d'experts. Bien que ces opinions varient selon les perspectives, la sagesse collective des chercheurs scientifiques a beaucoup à offrir aux décisionnaires. Leurs connaissances pourraient aider à délimiter l'étendue possible des dommages et le niveau de risques associés à l'inaction.

La présente étude donne donc les résultats d'un sondage d'opinion scientifique sur les répercussions du TADPA sur les forêts au Canada. Les participants étaient des scientifiques canadiens et américains, chercheurs actifs, presque tous dans le domaine du TADPA et des interactions du TADPA avec les forêts et les sols. L'objet du sondage était de recueillir et de compiler leurs opinons concernant les effets possibles sur les forêts et les processus qui se déroulent dans le cadre des écosystèmes forestiers. Les auteurs croient que les résultats reflètent

---

[1] M. Katz (1939), *Effect of Sulphur Dioxide on Vegetation*, Conseil national de recherches, nº 815, 477 p.; S.N. Linzon (1958), *The Influence of Smelter Fumes on the Growth of White Pine in the Sudbury Region*, publication conjointe, Ontario Department of Lands and Forests et Ontario Department of Mines, Toronto; E. Gorham et A.G. Gordon (1960), «Some Effects of Smelter Pollution Northeast of Falconbridge, Ontario», *Canadian Journal of Botany*, 38: 307-312.

[2] Anonyme (1983), *Summary Report on Forest Damage and Air Pollution*, Council of Environmental Advisors, Bonn.

[3] K.E. Rehfuess, C. Bosch, et E. Pfannkuch (1982), «Nutrient Imbalances in Coniferous Stands in Southern Germany», *Proceedings of the International Workshop on Growth Disturbances in Forest Trees*, Jyuaskyla (Finlande).

[4] R.L. Burgess (1984), *Effects of Acidic Deposition on Forest Ecosystems in the Northeastern United States: An Evaluation of Current Evidence*, ESF-84-016, State University of New York, Syracuse, N.Y.

[5] S.B. McLaughlin, T.J. Blasing, L.K. Mann et D.N. Duvick (1983), «Effects of Acid Rain and Gaseous Pollutants on Forest Productivity: A Regional Scale Approach», *J.A.P.C.A.*, 33: 1042-1049.

[6] J.J. Lee et D.E. Weber (1979), «The Effect of Simulated Acid Rain on Seedling Emergence and Growth of Eleven Woody Species», *Forest Science*, 25: 393-398; L.S. Evans, G.R. Hendry, G.J. Stensland, D.W. Johnson, et A.J. Francis (1981), «Acidic Precipitation: Considerations for an Air Quality Standard», *Air, Water and Soil Pollution*, 16: 460-509.

[7] B. Jonsson et L.G. Svensson (1982), *A Study of the Effects of Air Pollution on Forest Yield*, suite du rapport de Jonsson et Sandberg (1972) et nouvelle étude basée sur les types de forêts, Audelningen for Skogsuppskattning och Skogsindelning Sveriges Lantbruksuniversitet, nº 9, 61 p.; L.J. Puckett (1982), «Acid Rain Air Pollution and Tree Growth in Southeastern New York», *Journal of Environmental Quality*, 11: 376-381.

[8] I.K. Morrison (1984), «Acid Rain: A Review of Literature on Acid Deposition Effects in Forest Ecosystems», *Forestry Abstracts* 45: 483-506.

assez exactement les jugements éclairés de la collectivité scientifique sur l'étendue et les probabilités des répercussions du TADPA sur les forêts, compte tenu de l'information dont on dispose actuellement. Ils pourraient donc se révéler très utiles pour les décisionnaires au Canada et aux États-Unis, leur donnant une image réaliste des risques que présentent pour les forêts les niveaux actuels et futurs de pollution. De plus, ils devraient aussi être utiles pour la collectivité scientifique elle-même, puisqu'ils permettent de déceler les domaines où les opinions varient largement et ceux où il existe un consensus général, ce qui pourrait permettre de fixer des priorités pour les recherches futures et la conception d'activités de recherches spécifiques.

II. Méthodologie

A. Technique de sondage

Au cours du sondage, on a demandé aux participants d'exercer leur jugement d'experts afin d'évaluer les répercussions actuelles et probables du TADPA sur les forêts. Ces jugements diffèrent des décisions programmées ou routinières basées sur un état des connaissances relativement complet et sur un accord concernant la nature et l'étendue d'un problème. Quand ces conditions n'existent pas, on peut obtenir de meilleurs résultats par la mise en commun des connaissances et par une sensibilisation individuelle accrue à la diversité des opinions et une réflexion à ce sujet. Une des lignes de conduite structurées établies pour faciliter ce genre de prise de décisions est la technique Delphi[9].

La technique Delphi a été mise au point par Dalkey et ses collaborateurs au sein de la Rand Corporation, à la fin des années 50. Il s'agit d'un ensemble de questionnaires successifs établis avec soin, entrecoupés de résumés d'information et d'opinions tirées des réponses antérieures. Le premier questionnaire comprend habituellement des questions générales servant à cerner les problèmes et les relations d'intérêt. Les questionnaires suivants demandent généralement un examen, une clarification et des opinions sur les renseignements déjà recueillis et résumés. Le processus est interrompu quand on atteint un consensus ou quand l'échange d'information a été suffisant, de sorte qu'il est peu probable qu'il y ait d'autres changements d'opinions. Il faut généralement un minimum de trois répétitions. La conception et la mise en oeuvre spécifiques peuvent être modifiées selon la nature du problème en cause. La seule restriction réelle est la quantité de ressources humaines et physiques dont on dispose.

La technique Delphi a été largement utilisée et a été appliquée avec succès à un certain nombre de problèmes. Les premières applications étaient dans le domaine des prévisions où les différences d'opinions et l'incertitude quant aux tendances futures étaient considérables. Depuis lors, elle a été utilisée très souvent dans le domaine des affaires là où il existait des incertitudes au sein d'une entreprise au sujet d'un choix d'orientations. Elle a aussi été utilisée très souvent dans le domaine de la planification sociale afin d'établir des priorités, de déterminer ou d'exposer les théories ou l'information sous-jacentes à différents jugements, et pour établir des liens entre ces jugements, dans toute une gamme de disciplines.

Plusieurs avantages inhérents à cette technique la rendaient particulièrement appropriée pour le sondage sur les répercussions du TADPA sur la productivité forestière au Canada. D'abord, il n'était pas nécessaire de réunir les répondants, ce qui était particulièrement commode étant donné qu'ils étaient répartis sur une grande étendue géographique. Deuxièmement, l'anonymat qu'elle permet avait son utilité étant donné le peu d'information dont on disposait et la nécessité de faire des spéculations. La gêne suscitée par une rencontre publique peut limiter la créativité. Troisièmement, cette technique facilitait une participation équilibrée à chaque idée exprimée. Là encore, au cours d'une rencontre publique, les différentes personnalités, la renommée et l'importance hiérarchique peuvent distraire, tandis que l'opinion de la majorité peut exercer des pressions sociales sur les jugements individuels. Enfin, elle facilitait l'utilisation de méthodes de quantification et d'évaluation mathématiques favorisant une meilleure précision lors de la compilation des jugements individuels.

Cette technique a certaines exigences qui ne sont toutefois pas des facteurs limitatifs dans ce cas particulier. Par exemple, elle a demandé énormément de temps. Le sondage a duré six mois, de septembre 1984 à février 1985, et a exigé beaucoup d'efforts de la part de ceux qui ont conçu et mis les questionnaires à l'essai et analysé les résultats. Elle exigeait également des participants une certaine facilité à communiquer par écrit. Puisque le groupe était composé en grande partie de chercheurs scientifiques, cette exigence ne posait pas de problème. Enfin, les participants devaient être hautement motivés pour consacrer le temps et les efforts nécessaires à la réalisation du sondage.

B. Organisation du sondage et méthode de sélection des participants

Une équipe d'experts a été chargée d'établir l'orientation du sondage et d'interpréter les résultats obtenus. Cette *équipe de mise en oeuvre* comprenait deux spécialistes de la conception des sondages Delphi et de l'analyse quantitative, un scientifique spécialisé dans le domaine de la recherche sur la pollution atmosphérique et les forêts et deux économistes chargés de l'administration du sondage. Le fonctionnement au jour le jour était assuré par un *groupe de travail* composé d'employés du SCF. Ce groupe était chargé de la production et de la présentation des questionnaires dans les deux langues officielles, de l'envoi des questionnaires aux participants, de la communication par téléphone avec ces derniers au besoin, de la programmation informatique et du traitement général des données numériques reçues.

La première tâche consistait à choisir les participants. Étant donné l'objet de l'étude, il fallait désigner des experts scientifiques reconnus dans le domaine du TADPA ou des interactions entre le TADPA et les forêts au Canada. L'inclusion de trois domaines généraux de connaissances scientifiques a été jugée appropriée:

- Les sciences de l'atmosphère (météorologie).
- L'interaction entre les polluants atmosphériques et les forêts.
- L'interaction entre les sols et les forêts.

Plusieurs autres critères généraux ont été établis pour le choix des participants au sondage:

- Ils devaient être personnellement actifs, c'est-à-dire soit faire leur propre recherche dans le domaine ou s'occuper de la gestion d'autres chercheurs travaillant directement dans le domaine.
- Ils devaient avoir une connaissance étendue de la documentation scientifique dans ce domaine.
- Ils devaient avoir une connaissance détaillée de la situation de l'interaction entre la pollution atmosphérique et les forêts dans au moins une région canadienne ou une autre région où les conditions sont semblables à celles du Canada (par exemple le nord-est des États-Unis).

Se basant sur ces critères, on a eu recours à une technique de nomination par les pairs afin de désigner les participants. Le processus a été amorcé par le conseiller scientifique de l'équipe de mise en oeuvre qui a nommé un groupe de chercheurs bien connus et respectés qui, à son avis, satisfaisaient aux critères énoncés. Chacune de ces personnes a ensuite été rejointe, par téléphone, par un membre du groupe de travail qui lui a expliqué la nature du projet de sondage, ainsi que les critères de sélection des participants et lui a demandé de nommer des personnes qui, à son avis, seraient de bons candidats. Ce processus de référence s'est poursuivi tout au long d'une série d'environ 60 communications téléphoniques. À la fin, les listes de personnes en nomination ont été compilées et les répétitions ont été notées. Plus de 90 personnes avaient été désignées comme ayant la compétence nécessaire, et 40 de ces personnes avaient été nommées trois fois ou plus au cours du processus de référence. Ces 40 personnes ont donc constitué le groupe cible du sondage.

On a par la suite communiqué par téléphone avec chacun des membres du groupe cible pour leur demander de participer au sondage. Au cours de ces communications, on a signalé les obligations des participants, le temps qu'ils devraient consacrer au sondage et l'information qui serait partagée avec les autres participants. On a tenté de susciter chez les participants éventuels la motivation et l'intérêt nécessaires pour les résultats de l'étude en les convainquant de l'importance de l'étude et de leur participation. Le taux de collaboration a été remarquable, 34 des membres du groupe cible ayant accepté de participer. Les quelques refus essuyés étaient généralement attribuables au manque de temps ou à l'existence d'engagements antérieurs. On a donc procédé à l'analyse de l'étendue géographique et de la compétence des membres du groupe de participants confirmés. Par la suite, on a choisi cinq personnes parmi la cinquantaine mises en nomination restantes, et on les a ajoutées au groupe des participants confirmés. Enfin, ces 39 personnes ont constitué le groupe des répondants du sondage (annexe A).

C. Déroulement du sondage

La figure 1 est un schéma du déroulement du sondage. Celui-ci a commencé par une rencontre de l'équipe de mise en oeuvre, laquelle a clarifié les objectifs de l'étude, fixé les lignes directrices globales de sélection des participants et conçu le premier questionnaire. Par la suite, le groupe de travail a choisi le groupe de répondants et préparé une formule de sondage puis en a fait l'essai. Le questionnaire nº 1 a été envoyé aux répondants avec une lettre d'accompagnement. On a décidé d'avoir recours à des services de messagerie pour chaque étape du sondage afin d'éviter les retards du courrier et d'accélérer le temps de réponse.

La question I était une question préliminaire visant à déterminer les domaines de compétence géographique et technique du répondant, ainsi que son employeur. L'ensemble du questionnaire nº 1 était divisé en trois parties. La question II portait sur les effets actuels sur la productivité forestière des présents niveaux de pollution atmosphérique. Elle demandait l'opinion des participants sur les polluants atmosphériques clés qui pourraient nuire à la productivité forestière, la nature de toute modification de la productivité forestière, et les régions géographiques précises où les effets sur la productivité seraient les plus importants. Les questions III et IV étaient interreliées et portaient toutes deux sur l'avenir. La question III demandait l'opinion des participants sur les changements futurs du niveau de pollution atmosphérique au Canada, les polluants atmosphériques clés les plus susceptibles de changer et les régions géographiques où ces changements seraient les plus importants. La question IV demandait leur avis sur les répercussions probables de ces niveaux futurs de pollution atmosphérique sur la productivité forestière. Ici encore, les sous-éléments de la question permettaient d'identifier les polluants clés, la nature des modifications de la productivité et les régions spécifiques où ces changements pouvaient être les plus importants.

Conformément à la technique de sondage Delphi, chaque question était composée en termes généraux et posée de façon à laisser passablement de liberté. Les répondants étaient encouragés à donner des réponses écrites et à expliquer les raisons de leur opinon. L'objectif premier de cette partie de l'enquête était d'établir toute la gamme des idées et des opinions relatives aux répercussions du TADPA sur les forêts.

Après avoir analysé les réponses au questionnaire nº 1, l'équipe de mise en oeuvre en a synthétisé l'information en une série d'énoncés qui reprenaient toutes les hypothèses proposées par les répondants, qu'il s'agisse des répercussions globales du TADPA sur la productivité forestière ou des mécanismes particuliers qui expliquent ces répercussions. On a noté les polluants clés mentionnés ainsi que les régions géographiques d'intérêt. À partir de cela, on a conçu préparé, mis à l'essai et distribué aux répondants le questionnaire nº 2.

Très différent du premier, ce deuxième questionnaire s'attardait davantage aux aspects numériques. Maintenant que toute la gamme des relations possibles entre la productivité forestière et le TADPA avait été identifiée, on tentait de déterminer la cohésion des opinions du groupe en ce qui a trait à ces relations et d'obtenir une première indication des répercussions quantitatives possibles. Chacun des répondants devait noter la probabilité de chaque effet, maintenant et dans l'avenir, sur une échelle à cinq points, de «très probable» à «très peu probable». D'autres questions demandaient aux participants d'estimer le pourcentage le plus probable de modification de la productivité forestière et du niveau des polluants clés. Enfin, une question portait sur la vulnérabilité particulière de certaines essences d'arbres sur une échelle à cinq points de «très sensible» à «très peu sensible».

Les réponses au questionnaire nº 2 constituaient un relevé préliminaire de l'opinion du groupe de répondants concernant la probabilité et l'importance des relations mentionnées. Un des éléments clés de la technique de sondage Delphi est la réévaluation des opinions individuelles devant la présentation de nouvelles informations issues du processus. Par conséquent, le troisième questionnaire servait à présenter aux participants des données sommaires tirées des réponses au questionnaire nº 2. Devant ces résultats préliminaires, on demandait aux répondants du questionnaire nº 3 de réévaluer et de requantifier tous les points appropriés. Dans les cas où leur jugement individuel différait de façon marquée des résultats préliminaires du groupe, on leur demandait d'inscrire les raisons de leur position.

Le questionnaire nº 3 contenait également une série de nouvelles questions demandant des opinions relatives aux effets, sur la productivité forestière, de diverses hypothèses de pollution. Jusqu'à ce point du sondage, les questions avaient porté sur les répercussions, sur la productivité forestière, en l'absence de changement de la réglementation.

Les réponses au questionnaire nº 3 constituaient une sorte de point final pour un nombre substantiel d'éléments. Les opinions au sujet des répercussions des niveaux actuels de pollution sur la productivité forestière, la vulnérabilité des essences au TADPA et les niveaux de pollution futurs en l'absence de changement de réglementation étaient toutes acceptées comme finales. Le quatrième questionnaire portait entièrement sur l'avenir. Les questions précédentes concernant les répercussions possibles de diverses hypothèses de pollution étaient répétées, accompagnées de données sommaires tirées des réponses précédentes. Encore une fois, on demandait aux répondants de réévaluer et de requantifier tous les éléments appropriés du questionnaire nº 4.

Les réponses au questionnaire nº 4 constituaient les conclusions définitives des derniers éléments de l'étude.

---

[9]A.L. Delbecq, A.H. Van de Ven, et D.H. Gustafson (1975), *Group Techniques for Program Planning*. Glenview, Illinois: Scott, Foresman, and Company, p. 83-107.

Figure 1. Déroulement du projet.

III. Résultats du sondage

A. Caractéristiques des répondants et taux de réponse

Les 39 candidats choisis (annexe A) ont répondu au questionnaire nº 1. La plupart d'entre eux sont des employés du gouvernement (tableau 1), ce qui reflète l'importance de la participation gouvernementale aux programmes de recherche et de contrôle dans le domaine de la pollution atmosphérique. Le deuxième secteur d'emploi était celui des chercheurs d'universités. Des 39 répondants, seulement 3 provenaient du secteur privé (tableau 1).

Tableau 1. Groupement des répondants par catégorie d'employeurs*

Catégorie	*Nombre de répondants*
Gouvernement	24
Université	14
Secteur privé	3

* Deux répondants ont donné le gouvernement et l'université comme employeur. Par conséquent, le total dépasse le nombre de répondants.

La majorité des répondants étaient des spécialistes des interactions entre les forêts et le sol et (ou) les polluants atmosphériques. Un nombre substantiel ont indiqué bien connaître les deux domaines. Un groupe restreint a donné les sciences de l'atmosphère comme domaine de compétence (tableau 2).

Tableau 2. Groupement des répondants par domaine de compétence professionnelle*

Catégorie	*Nombre de répondants*
Interactions entre le sol et les forêts	21
Interactions entre les polluants de l'air et les forêts	25
Sciences de l'atmosphère	8
Autres	6

* De nombreux répondants sont compétents dans plus d'un domaine. Par conséquent, le total dépasse le nombre de répondants.

Sur le plan géographique, toutes les régions du Canada étaient comprises dans les compétences des répondants. La plupart d'entre eux ont indiqué connaître un certain nombre de régions différentes. Bon nombre connaissaient bien l'Ontario, tandis que le deuxième groupe le plus important connaissait bien le Québec et les provinces de l'Atlantique (tableau 3).

Tableau 3. Groupement des répondants par secteur de compétence géographique*

Région géographique	*Nombre de répondants*
Terre-Neuve	7
Maritimes	10
Québec	14
Ontario	24
Prairies/Territoires du Nord-Ouest	9
Colombie-Britannique/Yukon	6
Autres	12

* De nombreux répondants ont déclaré connaître plus d'une région géographique. Par conséquent, le total dépasse le nombre de répondants.

Au fur et à mesure du sondage, le taux de réponse a diminué quelque peu (tableau 4). Les raisons données se classaient à peu près également dans deux catégories. D'abord, un certain nombre de participants ne pouvaient tout simplement plus consacrer le temps nécessaire à remplir les questionnaires. Ensuite, le degré de spéculation nécessaire, particulièrement pour les réponses aux derniers questionnaires, rendait plusieurs répondants mal à l'aise. Malgré ces réactions, le taux global de participation a été supérieur à 80 % tout au long du sondage. Ce taux élevé était plus que satisfaisant, étant donné la nature intensive du sondage et sa durée.

Tableau 4. Nombre de répondants à chacun des questionnaires

Questionnaire	*Nombre de répondants*
1	39
2	36
3	33
4	32

Tel que prévu, les taux de réponse aux questions au cours de chacun des quatre questionnaires ont varié quelque peu et étaient inférieurs au taux de réponse global de chacun des questionnaires. À mesure que le sondage progressait, les questions devenaient plus spécifiques concernant les effets, les causes (ou mécanismes) et les régions géographiques possibles. On encourageait les répondants à laisser sans réponse les questions pour lesquelles ils ne s'étaient formé ni jugement ni opinion et de passer aux points suivants. Cette façon de procéder visait à décourager les répondants de trop spéculer dans des domaines où ils ne pouvaient donner d'opinion éclairée. Les taux de réponse aux diverses questions variaient d'un minimum de 14 à un maximum de 28. Ces taux sont indiqués dans les tableaux qui suivent et dans l'annexe B du présent rapport.

B. Définition des problèmes et des facteurs

Le premier questionnaire était en grande partie constitué de questions générales conçues pour laisser une grande liberté de réponse. Les résultats ont ensuite été utilisés pour la conception du deuxième. Ainsi, l'objet du premier questionnaire était de susciter de la part des répondants des opinions sur des domaines généraux, qui pourraient ensuite être utilisées pour préparer les questions spécifiques des questionnaires suivants. Les réponses sur les divers genres et niveaux de substances polluantes ainsi que la nature de leurs effets sur les réseaux forestiers ont donc mené à l'établissement d'une série d'hypothèses concernant les substances, les niveaux et les régions.

Tel qu'il avait été prévu, il y avait consensus général sur le fait que les polluants ponctuels pouvaient causer des dommages considérables aux systèmes forestiers; les répondants ont d'ailleurs cité de nombreux effets observés dans des régions très touchées à proximité d'importantes sources de pollution. Il y avait aussi concensus général sur les polluants clés qui pouvaient avoir des répercussions importantes sur la productivité présente et future des forêts. Cependant, on notait d'importantes divergences d'opinion quant aux tendances futures des niveaux de pollution atmosphérique et à leurs répercussions sur la productivité actuelle et future des forêts.

Le dioxide de soufre (SO_2) était le polluant atmosphérique le plus souvent mentionné. Sa nature phytotoxique, à l'état gazeux, et sa contribution aux dépôts acides ont été souvent répétés. La toxicité du SO_2 pour la végétation autour des importantes sources ponctuelles a été mentionnée par les répondants, mais ceux-ci ont reconnu que son rôle dans les dommages causés par l'acidité aux forêts était moins bien connu. Les produits finals des dégagements de SO_2, soit les particules de SO_4 et les dépôts humides et secs, seraient, d'après les réponses, largement répandus dans l'est du Canada.

Les oxydes d'azote (NO_x) faisaient aussi partie des importants agents de pollution du Canada, mais les répondants ont très peu fait mention des dommages causés à la végétation par ces composés à l'état gazeux. Ils ont parlé du rôle des oxydes d'azote en tant que précurseurs de l'ozone et comme composantes des dépôts acides. Leur répartition a été qualifiée de «possiblement grave, mais inégale», surtout à proximité des grands centres démographiques. Ceci limite donc la probabilité des interactions des NO_x gazeux avec la végétation, sauf en milieu urbain. Les NO_x semble exercer leur plus grande infuence par l'entremise de l'ozone et des dépôts acides mais, dans les forêts où le taux d'azote est limité, on a reconnu que son effet n'était pas nécessairement dommageable. L'addition d'azote à ces forêts pourrait même accroître la productivité, tout au moins à court terme.

L'ozone a été mentionné au nombre des polluants, particulièrement dans les régions se trouvant sous le vent des panaches urbains de la plupart des grandes villes canadiennes et américaines. Il y a d'ailleurs eu de nombreuses indications de dommages causés par l'ozone à la végétation agricole surtout dans le sud de l'Ontario. On a également mentionné l'absence d'une base de données pour l'ozone, particulièrement en ce qui a trait aux situations forestières. Les oxydants sont aussi considérés comme un important facteur, d'après des extrapolations de données ou d'expériences d'Allemagne ou des États-Unis.

Tout au long du sondage, on a beaucoup parlé des relations entre les métaux lourds et d'autres polluants. Bien qu'on ait donné peu de preuves de dépôts à l'échelle régionale, les spéculations sur la présence des métaux dans le TADPA étaient basées sur l'information recueillie aux environs des sources ponctuelles et dans le Nord-est des États-Unis.

Quant aux tendances futures des niveaux de pollution atmosphérique et à leur répartition régionale, de nombreux répondants ont insisté sur leur lien avec la croissance industrielle et les changements technologiques. En outre, ils ont aussi indiqué l'importance des attitudes du public face à la lutte contre la pollution, de la réglementation gouvernementale et des résultats futurs des négociations internationales. Les opinions variaient beaucoup quant aux résultats de ces divers facteurs. Certains participants ont beaucoup parlé de l'engagement du gouvernement canadien à l'égard de la réduction des émissions de SO_2, ainsi que des fortes pressions du public, au Canada et aux États-Unis, pour la lutte contre les émissions de soufre. On était en général moins optimiste quant aux émissions futures de NO_x et d'ozone. D'autres participants ont fait remarquer l'importance du coût des mesures de lutte et ont exprimé une certaine incertitude à l'égard de la volonté du public de payer pour ces mesures, quel que soit le polluant.

En ce qui a trait aux effets possibles sur la productivité, les réponses se classaient en quatre catégories:

- Augmentation de la productivité.
- Diminution de la productivité.
- Aucun changement net de productivité.
- Totale incertitude concernant les répercussions sur la productivité.

Les prévisions d'augmentation étaient basées en grande partie sur l'apport brusque d'azote qu'entraîneraient les niveaux de NO_x dans les systèmes à faible teneur en azote. Cependant, on savait, évidemment, qu'à long terme ces gains pouvaient être annulés par les pertes attribuables à un lessivage accéléré des cations.

La diminution de la productivité forestière est une hypothèse reliée à un certain nombre de processus physiologiques et chimiques qui se présentent à l'échelle d'un écosystème. Ce type de déclin forestier était associé aux baisses observées en Europe et dans le nord-est des États-Unis. D'après les commentaires, il suivrait une tendance générale semblable et serait attribuable à un certain nombre de causes, notamment une réduction de la germination et de la croissance, une accélération du lessivage des sols et du feuillage, la mobilisation de métaux toxiques, l'accroissement de la vulnérabilité des arbres face aux pathogènes et des réductions éventuelles importantes de la biomasse foliaire, entraînant une perte de la production de bois. Les similitudes entre certaines des opinions exprimées et celles qui sont reliées à la baisse en Allemagne ne sont certainement pas pure coïncidence. Il importe toutefois de noter qu'aucun commentaire n'a mentionné une situation spécifique où une réduction de la productivité forestière au Canada serait reliée aux dépôts causés par le TADPA.

Un autre groupe de répondants se disaient incertains des répercussions des polluants atmosphériques sur la productivité forestière, parce que le système est trop variable et qu'il est impossible de faire des généralisations à partir de certains types de forêts, de certains endroits et de certains dépôts de polluants. Les répondants ont fait remarquer que dans une forêt mixte, la réduction de productivité de l'essence A pouvait amener une augmentation de la productivité chez l'essence B, mais en fin de compte, aucun changement net de productivité pour l'ensemble du système. Cette position est d'ailleurs semblable à celle qui a été adoptée par ceux qui jugent que des substitutions d'essences peuvent survenir. Des essences plus tolérantes peuvent occuper un nouvel emplacement en réponse aux tensions créées par la substance polluante, remplaçant des essences vulnérables de la forêt régionale. D'autres répondants jugeaient tout simplement que le TADPA n'avait eu aucun effet sur la productivité forestière.

Ces réponses au premier questionnaire nous ont donné la substance nécessaire pour préparer les autres questionnaires. Les questions à poser ainsi que les domaines à explorer plus en détail étaient ainsi devenus très clairs. Les questions devaient porter spécifiquement sur a) les espèces vulnérables en relation avec le TADPA, b) les niveaux futurs des polluants clés et c) les modifications possibles de la productivité et les causes possibles.

Les sections suivantes constituent le rapport final de la compilation des réponses à ces questions spécifiques et le lecteur doit être mis en garde contre toute fausse interprétation. Il faut se rappeler que les chiffres donnés comme réponses ne représentent pas un consensus mais bien une moyenne mathématique des diverses opinions. Dans les tableaux, tant dans le texte que dans l'annexe B, la diversité des opinions est illustrée par l'échelle des réponses et le calcul statistique de l'écart-étalon. (Plus l'écart-étalon est élevé, plus les opinions exprimées sont variées.) Par ailleurs, il ne faut pas considérer les réponses moyennes comme dépourvues de signification en raison de la diversité d'opinions qu'elles expriment. Le cas échéant, le texte mentionne le niveau de confiance à 95 % des moyennes, lequel sert à vérifier si les chiffres sont significatifs sur le plan statistique.

C. Estimation de l'incidence du TADPA sur la productivité forestière actuelle

1. Probabilités que la productivité forestière ait été modifiée par les niveaux récents de TADPA

L'évaluation des probabilités que la productivité forestière ait été modifiée récemment dans diverses régions du Canada, en raison du TADPA, constitue la première étape en vue d'en déterminer les répercussions futures. À cette fin, on a demandé aux répondants d'inclure dans leurs réponses les probabilités de diminution, de maintien et d'augmentation de la productivité forestière, en se basant sur une échelle à cinq points. La moyenne des cotes de probabilité est présentée au tableau 5, des détails supplémentaires étant donnés au tableau B1 de l'annexe B.

Tableau 5. Probabilités moyennes que la productivité forestière actuelle ait été modifiée par les niveaux récents de TADPA*

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	2,69	2,88	1,42
Québec/Ontario	3,14	2,50	1,61
Prairies/T.N.-O.	1,21	4,32	1,42
Colombie-Britannique/Yukon	1,25	4,29	1,42

* En raison du groupement des données, il ne faut pas accorder trop d'importance aux données absolues. En certains cas, la cote relative peut signifier davantage. Par exemple si la cote des trois devenirs possibles était 2,0, 2,0, et 2,0, il serait tentant de conclure que les trois possibilités sont également peu probables. Il serait toutefois plus approprié de les considérer comme également possibles.

Source: Annexe B, tableau B1.

Les cotes moyennes pour la région du Québec et de l'Ontario indiquent une plus grande probabilité de diminution de la productivité forestière que de maintien (3,14 contre 2,50). L'inverse est vrai pour la région de l'Atlantique où la cote de maintien est supérieure (2,69 contre 2,88). Cependant, les cotes moyennes dans chaque région ne diffèrent pas largement l'une de l'autre au niveau de confiance de 95 %[10]. En effet, les probabilités de maintien et de diminution de la productivité forestière sont cotées à peu près également. Une augmentation de la productivité dans les deux régions est très peu probable (1,42 pour la région de l'Atlantique et 1,61 pour la région du Québec et de l'Ontario). Les deux cotes sont notablement inférieures aux autres cotes, pour chaque région.

Dans l'ouest du Canada, les cotes moyennes indiquent une forte probabilité de maintien de la productivité forestière, basée sur les niveaux actuels de TADPA. Une diminution ou une augmentation est très peu probable et passablement inférieure aux cotes de maintien pour la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et celle de la Colombie-Britannique et du Yukon.

2. *Probabilités de modification de la productivité attribuable à divers processus*

Les répondants avaient mentionné un certain nombre de mécanismes ou de processus par l'entremise desquels les niveaux récents TADPA entraînent des modifications de la productivité forestière. Ces processus ont été groupés selon leurs effets de diminution, de maintien ou d'augmentation de la productivité forestière. On a ensuite demandé aux répondants d'indiquer la probabilité que la productivité actuelle soit réellement affectée par chacun des processus. Les cotes moyennes sont indiquées au tableau 6, des détails supplémentaires figurant au tableau B1 de l'annexe B.

Dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario, où il existe certaines probabilités de diminution de la productivité, trois causes sont apparues comme modérément probables. Elles sont, par ordre décroissant de cote moyenne, l'accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage (3,08 et 3,33 respectivement), l'augmentation de la sensibilité à la sécheresse et aux autres tensions climatiques (2,72 et 3,15 respectivement) et la mobilisation des métaux toxiques (2,72 et 3,04 respectivement). Parmi les causes très peu probables, par ordre ascendant de cote moyenne, il y a la perte d'essences vulnérables (1,91 et 2,20 respectivement), la baisse de qualité du bois (2,00 et 2,27 respectivement), la réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois (2,16 et 2,37 respectivement) et la diminution de la germination et de la croissance des semis (2,21 et 2,31 respectivement). Les cotes pour la région de l'Atlantique sont systématiquement inférieures à celles de la région du Québec et de l'Ontario. Comme une diminution de la productivité est très peu probable dans l'ouest du Canada, les causes sont aussi très peu probables, comme l'indique au tableau 6 la faiblesse des cotes qui se situent entre 1,00 et 1,38.

Dans toutes les régions du Canada, en vertu de l'hypothèse de maintien de la productivité, une raison est apparue comme cause probable, c'est-à-dire que les niveaux de polluants sont trop faibles pour avoir un effet. La probabilité est modérée dans l'est du Canada (3,28 pour la région de l'Atlantique et 2,93 pour celle du Québec et de l'Ontario) et très élevée pour l'ouest du Canada (4,88 pour la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et 4,83 pour celle de la Colombie-Britannique et du Yukon). Les cotes moyennes pour les deux autres causes possibles de maintien de la productivité au tableau 6 sont toutes significativement inférieures à celles qui viennent d'être mentionnées. Il semble peu probable que ces deux processus contribuent au maintien de la productivité dans toutes les régions.

Une augmentation de la productivité forestière attribuable aux niveaux passés de TADPA est peu probable dans toutes les régions. Par conséquent, les causes possibles sont aussi peu probables. Les cotes attribuées à la probabilité de fertilisation par le soufre, l'azote et par le soufre et l'azote, varient entre 1,42 et 2,44 (tableau 6).

3. *Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière attribuable au TADPA au cours des dernières années*

On a ensuite demandé aux répondants de pousser un peu plus loin leur réflexion et de compléter leurs réponses sur les probabilités par des jugements concernant l'importance estimative des modifications qu'a subies la productivité forestière, à cause du TADPA, au cours de la dernière décennie (1974–1984) et des trois dernières décennies (1954–1984). Les réponses ont été compilées et sont présentées au tableau 7. Ces résultats, tel que prévu, sont conformes aux résultats concernant les probabilités de modification de la productivité (tableau 5). Le taux de réponses, selon les régions et les périodes, variait entre 17 et 20 répondants. Le pourcentage moyen de modification de la productivité est accompagné de l'échelle et de l'écart-type.

Les répondants ont identifié une baisse de la productivité forestière au cours de la dernière décennie (1974–1984) dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario. L'opinion collective des experts révèle que la baisse moyenne de productivité serait de l'ordre de 3,45 % pour la région de l'Atlantique et de 5,02 % pour la

Tableau 6. Probabilités que la productivité forestière actuelle ait été modifiée par différents processus

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable			
Processus	*Atlantique*	*Quebec Ontario*	*Prairies T.N.-O.*	*C.-B. Yukon*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants:				
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,21	2,31	1,00	1,04
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	2,50	2,81	1,04	1,08
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,08	3,33	1,29	1,38
Mobilisation des métaux toxiques	2,72	3,04	1,13	1,13
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,16	2,37	1,04	1,00
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,91	2,20	1,00	1,04
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,00	2,27	1,00	1,00
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	2,72	3,15	1,21	1,33
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants:				
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	3,28	2,93	4,88	4,83
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation*	2,13	1,92	1,74	1,70
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,88	1,69	1,39	1,48
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants:				
Fertilisation au soufre	1,42	1,46	1,68	1,82
Fertilisation à l'azote	2,08	2,44	1,82	1,91
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,74	1,88	1,73	1,82

* Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Source: Annexe B, tableau B1.

région du Québec et de l'Ontario (tableau 7). Les intervalles de confiance, au niveau de probabilité de 95 %, sont de –5,04 à –1,86 % pour la région de l'Atlantique, et de –7,42 à –2,62 % pour la région du Québec et de l'Ontario[11].

Ainsi, il y aurait eu une baisse de productivité forestière appréciable attribuable au TADPA dans les deux régions, entre 1974 et 1984. Cependant, les résultats pour l'ouest du Canada ne révèlent aucun changement important de la productivité au cours de la même période. Les pourcentages moyens de +0,51 pour la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et de –0,05 pour la région de la Colombie-Britannique et du Yukon ne diffèrent pas significativement de zéro au niveau de confiance de 95 %.

Les résultats pour la période de 1954 à 1984 sont semblables à ceux que nous venons de présenter, sauf

Tableau 7. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière attribuable au TADPA, 1974–1984 et 1954–1984

	1974–1984			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	–3,45	3,29	19	–10 à 0
Québec/Ontario	–5,02	4,97	19	–20 à 0
Prairies/T.N.-O.	+0,51	2,24	20	0 à +10
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,05	0,22	20	–1 à 0

	1954–1984			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	–4,51	4,23	17	–15 à 0
Québec/Ontario	–6,73	7,26	18	–25 à 0
Prairies/T.N.-O.	+0,59	2,29	19	0 à +10
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,05	0,52	19	–2 à +1

que le pourcentage approximatif de baisse de la productivité pour l'est du Canada est plus marqué. En effet, le pourcentage approximatif de diminution de la productivité forestière dans la région de l'Atlantique est de 4,51 % pour les trois dernières décennies (intervalle de confiance de –6,69 à –2,34 % à un niveau de 95 %). La baisse approximative pour la région du Québec et de l'Ontario est de 6,73 % (intervalle de confiance de –10,34 à –3,12 % à un niveau de 95 %) pour la même période. Une comparaison du pourcentage des deux périodes semble indiquer que la plus grande proportion de la baisse qui a eu lieu au cours de ces trente années dans l'est du Canada se serait produite au cours des 10 dernières années. Les résultats pour l'Ouest ne révèlent aucune modification importante de la productivité forestière attribuable au TADPA au cours des trois dernières décennies. Les pourcentages moyens pour les deux régions de l'Ouest (0,59 et –0,05 %) ne diffèrent pas significativement de zéro.

Les résultats du tableau 7 ont fourni une base de données importante à partir de laquelle les répondants ont pu évaluer les changements futurs de productivité. Qui plus est, ces résultats montrent que les baisses de productivité forestière dans l'est du Canada, attribuables au TADPA, ont déjà commencé.

4. Estimation de la sensibilité des essences d'arbres au TADPA

La baisse de productivité forestière attribuable au TADPA varie évidemment d'une forêt à l'autre, selon les différentes essences, les mélanges et les proportions. Pour mieux comprendre cette variation, nous avons demandé aux répondants de coter les plus importantes espèces commerciales d'arbres en fonction de leur sensibilité au TADPA. Le processus donnait aussi aux répondants la possibilité d'ajouter des essences à une liste préliminaire fournie par l'équipe de mise en oeuvre. Cet aspect est important pour deux raisons. D'abord la liste constituait un outil de base pour les répondants en les plaçant dans une meilleure position pour évaluer par la suite les changements de productivité entraînés par la mortalité ou la baisse de croissance. Ensuite, l'information sur la vulnérabilité des espèces facilitera la conduite d'une analyse des répercussions économiques qui doit être entreprise à la suite de ce projet.

Tableau 8. Sensibilité estimative des essences résineuses au TADPA

	Échelle: très sensible 5 4 3 2 1 très peu sensible			
Essence	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Pin blanc	4,00	0,65	20	5 à 3
Épinette rouge	3,85	0,88	20	5 à 2
Sapin baumier	3,24	0,56	17	4 à 2
Épinette noire	3,17	0,86	18	5 à 2
Épinette blanche	3,17	0,86	18	5 à 2
Pruche du Canada	2,80	0,41	15	3 à 2
Thuya occidental	2,77	0,44	13	3 à 2
Pin gris	2,76	0,75	17	4 à 1
Pin tordu	2,67	0,62	15	3 à 1
Douglas taxifolié	2,67	0,49	12	3 à 2
Pin rouge	2,29	0,69	17	4 à 1
Cyprès jaune	2,25	0,62	12	4 à 2
Thuya géant	2.08	0,29	12	3 à 2
Épinette du Colorado	2,08	0,86	13	4 à 1
Mélèze	1,85	1,21	13	5 à 1

Tableau 9. Sensibilité estimative des essences feuillues au TADPA

	Échelle: très sensible 5 4 3 2 1 très peu sensible			
Essence	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Érable argenté	3,92	1,08	12	5 à 2
Peuplier occidental	3,85	1,34	13	5 à 1
Hêtre	3,79	0,70	14	5 à 2
Frêne	3,69	0,75	13	5 à 3
Érable à sucre	3,38	1,09	16	5 à 1
Peuplier baumier	3,08	0,86	13	5 à 2
Peuplier faux-tremble	2,94	0,68	16	4 à 1
Bouleau à papier	2,93	0,59	15	4 à 2
Bouleau jaune	2,93	0,73	14	4 à 1
Chêne blanc	2,83	0,39	12	3 à 2
Érable rouge	2,69	0,63	13	3 à 1
Chêne rouge	2.08	0,64	13	3 à 1

Les répondants devaient aussi coter les essences selon leur sensibilité au TADPA au moyen d'une échelle en cinq points, 5 indiquant les espèces très sensibles et 1 les espèces très peu sensibles. La liste des essences a été divisée en deux

groupes: les résineux et les feuillus (tableaux 8 et 9). Les cotes de sensibilité (valeurs moyennes), les cotes de consensus (écarts-types), les taux de réponse (nombre de répondants) et les échelles sont indiqués pour les deux groupes.

Parmi les résineux, le pin blanc et l'épinette rouge sont estimés comme assez sensibles au TADPA, les cotes atteignant 4,00 et 3,85 respectivement (tableau 8). Ces deux cotes dépassent de façon significative le milieu de l'échelle, qui est de 3,0, au niveau de confiance de 95 %. À l'autre extrême, se trouvent les essences cotées peu sensibles: le mélèze (1,85), l'épinette du Colorado (2,08), le thuya géant (2,08), le cyprès jaune (2,25), le pin rouge (2,29) et dans une moindre mesure le douglas taxifolié (2,67). Chacune de ces espèces a reçu une cote significativement inférieure à 3,0 au niveau de confiance de 95 %. Les essences qui restent constituent le groupe central dont les cotes se situent aux environs de 3,0.

Parmi les feuillus, l'érable argenté (3,92), le peuplier occidental (3,85), le hêtre (3,79) et le frêne (3,69) étaient les plus sensibles au TADPA. Les cotes de ces espèces étaient significativement supérieures à 3,0. Par contre, le chêne rouge (2,08) a été coté comme étant insensible. Les autres essences représentent un groupe central dont les cotes varient aux environs de la valeur du milieu de l'échelle.

D. Estimation de l'évolution future des niveaux de polluants clés, selon les régions

Dans le questionnaire nº 1, les répondants ont défini divers facteurs qui pouvaient influencer les tendances futures des polluants atmosphériques. Ces facteurs comprenaient diverses hypothèses quant à la croissance économique future (et donc aux niveaux de pollution), aux changements pouvant être apportés à la réglementation concernant les émissions et aux résultats des négociations d'ententes internationales touchant les niveaux de TADPA. En vue de constituer une base commune pour les questionnaires à venir, nous avons demandé à tous les répondants de supposer:

1. qu'il n'y aurait aucun changement substantiel de la réglementation concernant la lutte contre la pollution en Amérique du Nord;
2. qu'il n'y aurait aucun accord international limitant la pollution transfrontalière;
3. que la croissance économique et démographique dans l'avenir serait modérée.

Les répondants devaient ensuite donner une indication de l'orientation (augmentation ou diminution) et de l'étendue (pourcentage) de l'évolution des niveaux de SO_2, de SO_x, de NO_x, d'ozone et de métaux lourds, soit les polluants clés définis comme ayant des répercussions sur la productivité forestière. Ils devaient aussi évaluer l'évolution du niveau de pollution de 1984 à 1994 et de 1984 à 2014. Cette information, une fois compilée, constituait une importante base à partir de laquelle les répondants pourraient par la suite évaluer l'évolution de la productivité forestière dans l'avenir.

Tableau 10. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de pollution, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994							
	Atlantique		***Québec/Ontario***		***Prairies/T.N.-O.***		***C.-B./Yukon***	
Polluant	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*
SO_2	+ 1,80	7,71	+ 2,88	8,26	+3,89	3,07	+3,69	4,81
SO_x	+ 3,63	6,47	+ 5,36	6,02	+4,10	3,23	+3,69	4,95
NO_x	+ 9,79	8,92	+10,66	9,00	+5,23	4,59	+7,28	9,41
Ozone	+10,02	8,80	+11,32	8,78	+5,08	4,59	+7,43	9,32
Métaux lourds	+ 3,99	5,69	+ 6,01	4,40	+4,06	3,13	+4,01	4,73

	1984–2014							
	Atlantique		***Québec/Ontario***		***Prairies/T.N.-O.***		***C.-B./Yukon***	
Polluant	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Moy.*	*Éc.-type*
SO_2	+10,96	18,94	+12,16	18,34	+10,52	13,28	+11,28	18,81
SO_x	+13,50	19,65	+14,97	18,93	+11,36	13,77	+11,83	19,44
NO_x	+19,10	21,89	+24,59	34,78	+12,18	13,46	+15,46	23,32
Ozone	+19,12	21,86	+24,19	34,62	+11,22	13,27	+15,41	23,33
Métaux lourds	+ 9,33	8,28	+12,42	9,41	+10,25	13,11	+10,16	14,08

Source: Annexe B, tableaux B2, B3, B4 et B5.

Le tableau 10 présente un sommaire des modifications prévues aux niveaux de polluants, quelques détails supplémentaires étant donnés aux tableaux B2, B3, B4 et B5 de l'annexe B. Selon l'opinion des répondants, tous les polluants, dans toutes les régions, devraient augmenter dans l'avenir. En outre, les pourcentages estimatifs d'augmentation moyenne diffèrent tous significativement de zéro, à l'exception du SO_2 dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario (1,80 et 2,88 % d'augmentation respectivement) entre 1984 et 1994 seulement, et du SO_x pour la région de l'Atlantique (3,63 % d'augmentation) entre 1984 et 1994 seulement. Dans les autres cas, toutes les prédictions moyennes du niveau de pollution diffèrent significativement de zéro au niveau de confiance de 95 %, au cours des deux périodes de 1984 à 1994 et de 1984 à 2014.

Au cours de la prochaine décennie, les augmentations prévues de NO_x et d'ozone dans l'est du Canada sont assez importantes, les valeurs étant de l'ordre de 10 à 11 %. Les augmentations prévues dans l'ouest du Canada, pour ces deux polluants, sont moindres, de l'ordre de 5 % dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et de 7 % dans celle de la Colombie-Britannique et du Yukon. Les métaux lourds devraient augmenter de 3 à 4 % d'ici 1994 dans toutes les régions, sauf celle du Québec et de l'Ontario, où on prévoit une augmentation de 6 %. Bien que les niveaux de SO_2 ne soient pas censés augmenter de façon marquée dans l'est du Canada au cours des 10 prochaines années, on prévoit une augmentation d'environ 4 % pour l'ouest du Canada. Les niveaux de SO_x augmenteront aussi d'environ 4 % dans l'ouest du Canada et de plus de 5 % au Québec et en Ontario.

Au cours des trois prochaines décennies, les augmentations des niveaux de polluants devraient être assez prononcées. Les niveaux de SO_2 augmenteraient de 11 à 12 % et ceux de SO_x, de 11 à 15 % dans toutes les régions, d'ici 2014. Les niveaux de NO_x et d'ozone devraient augmenter encore plus. Ces augmentations sont de l'ordre de 19 % dans la région de l'Atlantique, de 24 à 25 % dans la région du Québec et de l'Ontario, de 11 à 12 % dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et de 15 % dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon. Les métaux lourds devraient augmenter de 10 à 12 % dans toutes les régions, au cours des 30 prochaines années.

Il y a deux points importants à ne pas oublier au sujet de ces prédictions. D'abord, elles sont basées sur les hypothèses susmentionnées. Ensuite, il y a une variation considérable (absence de consensus) entre les opinions quant à l'orientation et à l'importance des changements. Bien que tous les répondants aient indiqué des changements non négatifs (soit 0, soit positifs) des niveaux de tous les polluants dans toutes les régions au cours des trois prochaines décennies, ainsi que des NO_x et de l'ozone dans toutes les régions au cours de la prochaine décennie, certains d'entre eux ont quand même prévu des diminutions du SO_2, des SO_x et des métaux lourds dans l'est du Canada au cours de la prochaine décennie (annexe B, tableaux B2, B3, B4, et B5). La variation en importance des changements de niveau des polluants est passablement grande dans tous les cas. De fait, les écarts-types ont à peu près le même ordre d'importance que leur moyenne respective (tableau 10). Il faut donc user de prudence lors de l'interprétation de ces résultats.

E. Estimation des répercussions de l'augmentation du TADPA sur la productivité forestière des années à venir

1. Probabilités de modification de la productivité forestière

Compte tenu de l'évolution prévue des niveaux de pollution qui est donnée à la section D, on a demandé au répondants d'indiquer les probabilités de diminution, de maintien et d'augmentation de la productivité forestière au moyen de l'échelle à cinq points. Les réponses devaient être données par région, pour 1994 et 2014. Les cotes moyennes de modification future de la productivité forestière sont présentées au tableau 11, des détails supplementaires étant donnés aux tableaux B6, B7, B8 et B9 de l'annexe B.

Les cotes moyennes de probabilité indiquent qu'il y aura probablement une diminution de la productivité forestière dans l'est du Canada au cours de la prochaine décennie (3,12 dans la région de l'Atlantique et 3,54 dans la région du Québec et de l'Ontario), diminution encore plus probable au cours des trois prochaines décennies (3,64 et 3,92, respectivement). Les diminutions dans l'ouest du Canada sont assez peu probables (cotes se situant entre 1,38 et 1,80). Le résultat opposé serait un maintien de la productivité forestière. Le maintien est peu probable dans l'est du Canada (cotes de 1,70 à 1,88), mais assez probable pour l'ouest du pays

Tableau 11. Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière attribuable à l'augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014*

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable		
	1984–1994		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	3,12	1,88	1,16
Québec/Ontario	3,54	1,70	1,15
Prairies/T.N.-O.	1,38	3,52	1,31
Colombie-Britannique/ Yukon	1,48	3,42	1,28
	1984–2014		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	3,64	1,85	1,12
Québec/Ontario	3,92	1,63	1,12
Prairies/T.N.-O.	1,65	3,44	1,27
Colombie-Britannique/ Yukon	1,80	3,31	1,28

* On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée.

Source: Annexe B, tableaux B6, B7, B8 et B9.

(cotes de 3,31 à 3,52). Quant à l'augmentation de la productivité elle est très peu probable où que ce soit au Canada (cotes de 1,12 à 1,31).

2. *Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus*

Les répondants avaient défini un certain nombre de mécanismes ou de processus par l'intermédiaire desquels le TADPA entraîne des modifications de la productivité forestière (tableau 6). Ces processus ont été groupés selon la diminution, le maintien ou l'augmentation de la productivité forestière. On a demandé aux répondants d'estimer la probabilité que la productivité forestière soit réellement modifiée dans l'avenir par chacun des processus avec une augmentation des niveaux de polluants d'ici 1994 et 2014. Les cotes moyennes des réponses sont indiquées aux tableaux 12 et 13, des détails supplémentaires étant présentés aux tableaux B6, B7, B8 et B9 de l'annexe B.

Dans la région de l'Atlantique, où l'on a identifié une certaine probabilité de diminution de la productivité forestière au cours de la prochaine décennie, le processus le plus susceptible de causer cette diminution est l'accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage (cote moyenne de 3,35). Tous les autres processus dont la cote moyenne est inférieure à 3,0 risquent peu de se produire (tableau 12). Cependant, le nombre de processus probables est porté à quatre quand la période est étendue à trois décennies. Les causes les plus probables de la baisse de productivité forestière sont l'accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage (3,74), la mobilisation des métaux toxiques (3,26), l'accroissement de la sensibilité des arbres aux pathogènes (3,16) et l'augmentation

Tableau 12. Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus, avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable			
Processus	*Atlantique*	*Québec Ontario*	*Prairies T.N.-O.*	*C.-B. Yukon*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants:				
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,35	2,50	1,22	1,33
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	2,75	3,05	1,37	1,44
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,35	3,64	1,63	1,56
Mobilisation des métaux toxiques	2,95	3,18	1,47	1,44
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,55	2,95	1,22	1,39
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	2,15	2,45	1,18	1,22
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,58	2,62	1,17	1,33
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	2,85	3,18	1,50	1,37
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants:				
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	2,11	1,86	3,40	3,42
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation*	1,89	1,86	1,63	1,61
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,63	1,62	1,58	1,44
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants:				
Fertilisation au soufre	1,37	1,38	1,63	1,28
Fertilisation à l'azote	1,58	1,62	1,63	1,50
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,42	1,48	1,53	1,44

* Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Source: Annexe B, tableaux B6, B7, B8 et B9.

Tableau 13. Probabilités de modification de la productivité forestière attribuable à divers processus, avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–2014

Processus	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable			
	Atlantique	*Québec/Ontario*	*Prairies/T.N.-O.*	*C.-B./Yukon*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants:				
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,58	2,62	1,39	1,50
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	3,16	3,48	1,58	1,67
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,74	4,05	1,84	1,78
Mobilisation des métaux toxiques	3,26	3,62	1,68	1,56
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,89	3,43	1,50	1,61
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	2,58	2,81	1,41	1,39
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,84	3,00	1,39	1,53
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	3,15	3,77	1,95	1,68
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants:				
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	1,84	1,57	3,35	3,37
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation*	1,89	1,86	1,68	1,67
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,68	1,76	1,58	1,44
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants:				
Fertilisation au soufre	1,42	1,38	1,68	1,28
Fertilisation à l'azote	1,68	1,76	1,68	1,56
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,42	1,48	1,58	1,44

* Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Source: Annexe B, tableaux B6, B7, B8 et B9.

de la sensibilité à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques (3,15) (tableau 13). Les processus contribuant au maintien ou à l'augmentation de la productivité forestière sont cotés comme étant assez peu probables, puisqu'il est peu probable que la productivité forestière demeure constante ou augmente (tableaux 11, 12 et 13).

Dans la région du Québec et de l'Ontario, où la diminution de la productivité forestière est considérée comme assez probable, il y a plusieurs causes: l'accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage (3,54), l'augmentation de la sensibilité à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques (3,18), la mobilisation des métaux toxiques (3,18) et l'accroissement de la sensibilité des arbres aux pathogènes (3,05). Au cours des 30 prochaines années, ces mêmes processus devraient amener une diminution de la productivité forestière (cotes moyennes de 4,05, 3,77, 3,62 et 3,48 respectivement, tableau 13), mais avec l'addition d'une réduction possible de la biomasse foliaire puis de la production de bois (3,43). Le maintien ou l'augmentation de la productivité forestière sont peu probables. Par conséquent, les processus qui leur sont associés sont aussi peu probables (tableaux 11, 12 et 13).

Dans l'ouest du Canada, il y a quelques probabilités de maintien de la productivité forestière (tableau 11). Cette situation dépend probablement du fait que les niveaux de substances polluantes sont trop faibles pour avoir quelque effet. Les cotes de probabilités pour la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et celle de la Colombie-Britannique et du Yukon sont de 3,40 et 3,42 respectivement, d'ici 1994 (tableau 12) et de 3,35 et 3,37 respectivement, d'ici 2014 (tableau 13). Les autres processus contributifs sont peu probables. En outre, les processus associés à la diminution ou à l'augmentation de la productivité forestière sont aussi peu probables dans l'ouest du Canada.

3. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière

On a demandé aux répondants d'étoffer leurs réponses sur les probabilités de modification par des jugements sur l'importance de cette modification de la productivité forestière attribuable aux niveaux prévus du TADPA au cours de la prochaine

décennie (1984–1994) et des trois prochaines décennies (1984–2014). Les réponses ont été compilées et sont présentées au tableau 14. Ces résultats, tel que prévu, sont assez comparables aux résultats des probabilités de modification de la productivité forestière (tableaux 12 et 13). Les changements estimatifs de productivité dans l'est du Canada indiquent des baisses notables, tandis que la modification prévue dans l'ouest du Canada, bien qu'elle accuse une certaine baisse, est presque nulle (c'est-à-dire près du maintien de la productivité). Une fois encore, on a demandé aux répondants de supposer une croissance économique et démographique modérée et l'absence de changement de la réglementation concernant les émissions.

Dans la région de l'Atlantique, le TADPA devrait entraîner une baisse de 4,50 % de la productivité forestière au cours de la prochaine décennie (tableau 14). L'intervalle de confiance de cette valeur moyenne, à une probabilité de 95 %, se situe entre –5,53 et –3,47 %. La baisse au cours des 30 prochaines années (1984–2014) devrait être de 8,35 % avec un intervalle de confiance se situant entre –10,34 et –6,36 %.

Les baisses de productivité estimatives pour la région du Québec et de l'Ontario sont plus marquées. La baisse d'ici 1994 est de 7,41 % avec un intervalle de confiance de –8,76 à –6,06 %. D'ici 2014, la baisse devrait atteindre 11,53 % avec un intervalle de confiance de –14,02 à –9,04 % (tableau 14).

Des baisses de productivité forestière sont prévues dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest. Bien que la baisse d'ici 1984 soit assez faible, soit 0,78 %, elle diffère néanmoins significativement de zéro. L'intervalle de confiance se situe entre –1,31 et –0,25 %. La baisse d'ici l'an 2014 devrait atteindre 1,63 % avec un intervalle de confiance de –2,62 à –0,64 % (tableau 14).

Les baisses de productivité forestière dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon sont semblables à celles des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest. La baisse prévue d'ici 1994, de 0,83 %, diffère significativement de zéro.

Tableau 14. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une augmentation des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014*

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre du répondants*	*Échelle*
Atlantique	–4,50	2,32	22	–10,0 à 0,0
Québec/Ontario	–7,41	3,26	25	–15,0 à 0,0
Prairies/T.N.-O.	–0,78	1,25	24	–5,0 à 0,0
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,86	1,66	24	–7,5 à 1,0
	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	–8,35	4,49	22	–20,0 à 0,0
Québec/Ontario	–11,53	6,04	25	–30,0 à 0,0
Prairies/T.N.-O.	–1,63	2,40	25	–10,0 à 0,0
Colombie-Britannique/ Yukon	–2,30	3,32	25	–15,0 à 0,0

* On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée.

L'intervalle de confiance est de –1,53 à –0,13 %. D'ici 2014, la diminution de la productivité forestière devrait atteindre 2,30 % avec un intervalle de confiance de –3,67 à –0,93 %.

D'après les résultats du tableau 14, il faut envisager sérieusement des baisses de productivité forestière dans toutes les régions du Canada, à moins que des efforts ne soient faits pour réduire les augmentations prévues des niveaux de TADPA. Ces baisses seraient particulièrement évidentes dans l'est du Canada. Elles se présenteraient principalement sous forme de réduction de croissance (72 à 88 %), et le reste sous forme de mortalité (28 à 12 %). Les jugements collectifs des répondants au sujet de chacune des formes de diminution varient légèrement entre les régions et entre les périodes d'une et de trois décennies (tableau 15).

F. Estimation des répercussions du maintien ou de la diminution des niveaux de TADPA sur la productivité forestière des années à venir

Les prévisons qui précèdent sur l'évolution de la productivité forestière (tableaux 11 et 14) représentent les opinions collectives des spécialistes basées sur une augmentation des niveaux de pollution (tableau 10) en l'absence de changement de réglementation. Bien que ces résultats constituent une hypothèse de base utile et importante, ils ne constituent pas nécessairement un reflet fidèle de l'avenir. Le Canada s'est présentement engagé à réduire de 50 % les émissions de soufre au pays. De plus, un mémorandum d'entente entre le Canada et les États-Unis a été signé au sujet de la lutte contre la pollution transfrontalière. Par ailleurs, il est toujours possible que les progrès technologiques permettent d'améliorer la lutte contre la pollution. C'est pourquoi on a tenté de connaître l'opinion des experts sur l'évolution de la productivité forestière dans d'autres situations de pollution.

Tableau 15. Estimation de la répartition des formes de diminution de la productivité forestière entre la mortalité des forêts et la réduction de croissance, en 1994 et en 2014

Région	*Année*	*Forme de diminution*	*Moyenne (%)*	*Écart-type (%)*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	1994	Mortalité	20,37	9,04	16	5 à 40
		Réduction de croissance	79,63	9,04	16	60 à 95
	2014	Mortalité	26,06	9,77	16	5 à 40
		Réduction de croissance	73,94	9,77	16	60 à 95
Québec/Ontario	1994	Mortalité	23,56	8,15	18	10 à 40
		Réduction de croissance	76,44	8,15	18	60 à 90
	2014	Mortalité	27,50	9,36	18	10 à 50
		Réduction de croissance	72,50	9,36	18	50 à 90
Prairies/T.N.-O.	1994	Mortalité	12,00	14,45	10	0 à 50
		Réduction de croissance	88,00	14,45	10	50 à 100
	2014	Mortalité	14,80	13,14	10	5 à 50
		Réduction de croissance	85,20	13,14	10	50 à 95
Colombie-Britannique/Yukon	1994	Mortalité	14,40	13,10	10	5 à 50
		Réduction de croissance	85,60	13,10	10	50 à 95
	2014	Mortalité	17,91	12,61	11	5 à 50
		Réduction de croissance	82,09	12,61	11	50 à 95

Nous avons donc proposé deux autres situations dans le troisième questionnaire. Nous avons demandé aux répondants de nous donner leur opinion au sujet a) de l'évolution de la productivité forestière en se basant sur l'hypothèse du maintien des niveaux actuels de pollution et b) de l'évolution de la productivité forestière en se basant sur l'hypothèse de la diminution des niveaux actuels de pollution de 50 % d'ici 1994 et de leur maintien par la suite. Ces situations pourraient permettre de mesurer l'efficacité possible de la réglementation.

1. *Probabilités de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA*

On a demandé aux répondants d'indiquer la probabilité d'une diminution, du maintien et d'une augmentation de la productivité forestière, en se basant sur le maintien des niveaux de TADPA, au moyen de l'échelle de probabilité à cinq points. Les réponses ont été données pour la période de 1984 à 1994 et de 1984 à 2014, et par région. Les cotes moyennes de la probabilité de modification de la productivité forestière sont présentées au tableau 16, des détails supplementaires étant donnés aux tableaux B10, B11 et B12 de l'annexe B.

Selon les réponses obtenues, il faut s'attendre à diminution de la productivité forestière dans l'est du Canada au cours de la prochaine décennie (3,08 pour la région de l'Atlantique et 3,29 pour la région du Québec et de l'Ontario) et encore plus au cours des trois prochaines décennies (3,54 et 3,61 respectivement). Ces diminutions sont prévues malgré le maintien des niveaux de pollution. Dans l'ouest du Canada, les baisses sont peu probables (cotes de 1,41 à 1,70). Le résultat opposé serait le maintien de la productivité forestière. Ce maintien est peu probable dans l'est du Canada (cotes de 1,81 à 2,15) et assez probable dans l'ouest du Canada (cotes de 3,46 à 3,69). Par ailleurs, une augmentation de la productivité, avec un maintien des niveaux de pollution, est très improbable, où que ce soit au Canada (cotes de 1,11 à 1,31).

Les résultats présentés ici sont essentiellement les mêmes qu'en vertu de l'hypothèse d'une augmentation de la pollution (tableau 11). Une comparaison de moyennes correspondantes des tableaux 11 et 16 ne révèle aucune différence importante au seuil de signification de 5 % entre deux moyennes correspondantes. Ces résultats laissent croire que l'amélioration de la réglementation ou d'autres mesures visant à empêcher l'augmentation de la pollution et à maintenir celle-ci au niveau

actuel n'empêcherait pas la baisse de la productivité forestière dans l'est du Canada. De plus, l'atténuation de cette baisse ne serait pas significative.

2. *Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA*

On a encore une fois demandé aux répondants, d'étoffer leurs réponses sur les probabilités de modification par des jugements sur l'importance de cette modification de la productivité forestière. Cette fois, on leur demandait une évaluation du pourcentage de modification de la productivité forestière en supposant que les niveaux de TADPA resteraient constants au cours de la prochaine décennie (1984–1994) et des trois prochaines décennies (1984–2014). Les réponses ont été compilées et sont présentées au tableau 17. Ces résultats, tel que prévu, sont conformes aux résultats des probabilités de modification de la productivité à des niveaux constants de TADPA (tableau 16). Tout comme dans le cas de l'augmentation des niveaux de TADPA (tableau 14), la modification prévue à des niveaux constants de TADPA dans l'est du Canada est une baisse de productivité, tandis que dans l'Ouest, bien qu'il y ait une certaine baisse de prévue, elle est presque nulle (c'est-à-dire à peu près aucun changement de productivité).

Dans la région de l'Atlantique, le TADPA devrait entraîner une baisse de 3,19 % de la productivité forestière au cours de la prochaine décennie à des niveaux de pollution constants (tableau 17). L'intervalle de confiance de cette valeur moyenne avec une probabilité de 95 % se situe entre –4,13 et –2,25 %. La baisse au cours des 30 prochaines années (1984–2014) est estimée à 6,09 % avec un intervalle de confiance se situant entre –7,70 et –4,48 %.

Les baisses prévues de productivité à des niveaux de pollution constants dans la région du Québec et de l'Ontario sont moins prononcées. La baisse d'ici 1994 est de 5,26 % avec un intervalle de confiance se situant entre –6,56 et –3,96 %. D'ici 2014, la baisse est estimée à 8,73 % avec un intervalle de confiance de –10,76 à –6,70 % (tableau 17).

Les baisses de productivité forestière à des niveaux de pollution constants dans l'ouest du Canada d'ici 1994 sont assez faibles. Cependant, les deux pourcentages moyens de baisse, –0,47 % pour les Prairies et les Territoires du Nord-Ouest et –0,66 % pour la Colombie-Britannique et le Yukon diffèrent significativement de zéro (intervalle de confiance de –0,83 à –0,11 % et de –1,20 à –0,12 % respectivement). La modification de la productivité forestière dans les deux régions, d'ici 2014, est

Tableau 16. Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable		
	1984–1994		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	3,08	2,15	1,15
Québec/Ontario	3,29	1,96	1,14
Prairies/T.N.-O.	1,41	3,69	1,27
Colombie-Britannique/ Yukon	1,48	3,62	1,31
	1984–2014		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	3,54	2,00	1,12
Québec/Ontario	3,61	1,81	1,11
Prairies/T.N.-O.	1,59	3,54	1,27
Colombie-Britannique/ Yukon	1,70	3,46	1,27

Source: Annexe B, tableaux B10, B11 et B12.

Tableau 17. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	–3,19	2,12	22	–7,5 à 0,0
Québec/Ontario	–5,26	3,16	25	–10,0 à 0,0
Prairies/T.N.-O.	–0,47	0,83	23	–2,5 à 0,0
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,66	1,26	23	–5,0 à 1,0
	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	–6,09	3,65	22	–15,0 à 0,0
Québec/Ontario	–8,73	4,91	25	–20,0 à 0,0
Prairies/T.N.-O.	–0,93	1,37	23	–5,0 à 0,0
Colombie-Britannique/ Yukon	–1,64	2,31	23	–10,0 à 0,0

plus élevée (–0,93 et –1,64 % respectivement). Les intervalles de confiance sont de –1,52 à –0,34 % pour la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et de –2,64 à –0,64 % pour la région de la Colombie-Britannique et du Yukon.

Les résultats du tableau 17 portent à croire que si les niveaux de TADPA n'augmentent pas, mais demeurent constants, il y aura quand même des baisses de productivité forestière dans toutes les régions du Canada. Ces baisses seront particulièrement notables dans l'Est. Dans l'Ouest, si les niveaux de TADPA sont constants, les baisses seront presque nulles, mais néanmoins significatives au cours des périodes de 10 et 30 ans.

3. *Probabilités de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA*

Nous avons demandé aux répondants d'envisager encore une fois la probabilité de modification de la productivité forestière future en assumant une baisse des niveaux actuels de pollution de 50 % d'ici 1994, et leur maintien à un niveau constant par la suite. En particulier, on leur a demandé d'indiquer la probabilité d'une diminution, du maintien et de l'augmentation de la productivité forestière au moyen de l'échelle de probabilité à cinq points. Les réponses de probabilité sont données pour la période de 1984 à 1994 et de 1984 à 2014, et par région. Les cotes moyennes de probabilité pour la modification de la productivité forestière sont présentées au tableau 18, des détails supplémentaires étant donnés aux tableaux B13, B14 et B15 de l'annexe B.

S'il y avait une diminution des niveaux de TADPA, la diminution de la productivité, à peu près partout au Canada, disparaîtrait pratiquement. Les cotes de probabilité se situent entre 1,23 et 1,93, selon les régions, et selon les deux périodes d'une et trois décennies, indiquant que les baisses de productivité sont très peu probables.

Dans l'ouest du Canada, le maintien de la productivité est assez probable d'ici 1994 et 2014. Les cotes de probabilité se situent entre 3,60 et 3,64 (tableau 18). En même temps, une augmentation de la productivité forestière dans l'ouest du Canada, si les niveaux de TADPA diminuent, est très peu probable pendant ces deux périodes. Les cotes de probabilité se situent entre 1,17 et 1,26.

Dans l'est du Canada, les opinions des répondants étaient divisées entre le maintien et l'augmentation de la productivité forestière. Les cotes varient entre 2,04 et 2,50. Ces résultats diffèrent de façon marquée des probabilités liées à l'augmentation ou au maintien du TADPA à des niveaux constants, pour lesquels les diminutions de productivité étaient assez probables (tableaux 11 et 16).

Tableau 18. Probabilités moyennes de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014*

	Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable		
	1984–1994		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	1,77	2,42	2,04
Québec/Ontario	1,93	2,43	2,14
Prairies/T.N.-O.	1,23	3,60	1,26
Colombie-Britannique/ Yukon	1,23	3,60	1,17
	1984–2014		
Région	*Diminution*	*Maintien*	*Augmentation*
Atlantique	1,62	2,50	2,27
Québec/Ontario	1,75	2,39	2,43
Prairies/T.N.-O.	1,27	3,64	1,26
Colombie-Britannique/ Yukon	1,27	3,60	1,21

* La modification de la productivité est basée sur l'hypothèse d'une réduction des niveaux de pollution de 50 % par rapport aux niveaux actuels d'ici 1994 et du maintien indéfini de ce niveau réduit.

Source: Annexe B, tableaux B13, B14 et B15.

4. *Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA*

On a demandé aux répondants de donner leur opinion sur l'importance de la modification de le productivité forestière en posant l'hypothèse d'une diminution du TADPA de 50 % d'ici 1994 et de son maintien à un niveau constant par la suite. Ils ont fourni des jugements au sujet du pourcentage de modification de la productivité pendant la prochaine décennie (1984–1994) et les trois prochaines décennies (1984–2014).

Tableau 19. Estimation du pourcentage de modification de la productivité forestière avec une diminution des niveaux de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	+0,53	2,09	21	–2,5 à + 5,0
Québec/Ontario	+0,48	3,89	22	–5,0 à + 7,0
Prairies/T.N.-O.	–0,14	0,47	22	–2,0 à 0,0
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,11	0,62	22	–2,5 à 1,0

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	+1,20	3,57	21	–5,0 à +10,0
Québec/Ontario	+1,68	4,97	22	–10,0 à +15,0
Prairies/T.N.-O.	–0,16	0,68	22	–3,0 à + 0,5
Colombie-Britannique/ Yukon	–0,07	1,24	22	–5,0 à + 2,0

* La modification de la productivité est basée sur l'hypothèse d'une réduction des niveaux de pollution de 50 % par rapport aux niveaux actuels d'ici 1994 et du maintien indéfini de ce niveau réduit.

Les réponses ont été compilées et sont présentées au tableau 19. Ces résultats sont conformes aux résultats des probabilités de modification (tableau 18).

Si les niveaux de TADPA diminuaient de 50 % d'ici 1994 et demeuraient constants par la suite, il y aurait peu ou point de modification de la productivité forestière. Le pourcentage moyen de changement prévu varie entre –0,16 et +1,68 % (tableau 19). Aucune de ces valeurs ne diffère significativement de zéro au seuil de signification de 5 %. Par conséquent, les niveaux actuels de productivité forestière au Canada demeureraient inchangés si les niveaux de pollution étaient réduits de la façon décrite ci-dessus.

[10]Le paramètre du test «t» est utilisé dans tous les cas. Voir Paul G. Hoel (1971), *Introduction to Mathematical Statistics*, John Wiley and Sons, New York, p. 257-265.

[11]Calculé au moyen de la moyenne plus ou moins l'erreur-type (écart-type divisé par la racine carrée du nombre de répondants) multiplié par le paramètre du test «t» à une probabilité de 95 %.

IV. Sommaire et conclusions

Il persiste une grande incertitude au sujet des effets du TADPA sur la productivité forestière au Canada. Cependant, on a quand même beaucoup d'information, sous forme de jugements et d'opinions d'experts. Cette connaissance collective peut nous permettre de mieux comprendre les risques que représentent pour les forêts les niveaux actuels et futurs de pollution et le danger de retarder les décisions publiques au sujet de la lutte contre la pollution jusqu'à ce qu'on dispose de preuves plus concluantes.

L'objet de l'étude était de solliciter et de compiler systématiquement, grâce à la technique Delphi, l'opinion éclairée des scientifiques qui étudient le TADPA et les forêts. Ce processus suppose la conduite d'une sondage d'opinion au moyen d'une série de questionnaires successifs, entrecoupés de résumés d'informations et d'opinions tirées des réponses antérieures. Les répondants des quatre questionnaires ont été choisis au moyen d'une technique de nomination par les pairs. On a choisi 39 scientifiques ayant une certaine compétence technique dans un ou plusieurs secteurs des sciences atmosphériques, l'interaction entre les polluants atmosphériques et les forêts ou entre les sols et les forêts.

Les répondants ont donné des opinions sur la probabilité que la productivité forestière ait été modifée récemment par le TADPA, et sur les processus qui auraient amené ces modifications. Ils ont aussi donné leur opinion sur la vulnérabilité de diverses essences commerciales de résineux et de feuillus. Ils ont ensuite exprimé leurs prévisions concernant l'évolution de la pollution atmosphérique en se fondant sur l'hypothèse d'une croissance économique et démographique modérée et en l'absence de changement à la réglementation sur la pollution de l'air. Cette information a servi de base à d'autres prévisions et opinions sur l'évolution de la productivité forestière avec une augmentation des niveaux de TADPA et sur les processus entraînant cette évolution. Enfin, les répondants ont révisé leur évaluation sur l'évolution de la productivité forestière en se fondant cette fois sur le maintien du TADPA aux niveaux actuels, et sur une baisse de 50 % de ces niveaux au cours de la prochaine décennie et leur maintien par la suite. Par ailleurs, ils devaient estimer le pourcentage de modification de la productivite forestière. Sur le plan historique, l'étude a porté sur la dernière et les trois dernières décennies, et pour ce qui est de l'avenir, sur la prochaine et les trois prochaines décennies. Toutes réponses ont été données pour chacune des quatre régions suivantes: l'Atlantique; le Québec et l'Ontario; les Prairies et les Territoires du Nord-Ouest; et la Colombie-Britannique et le Yukon.

Le tableau 20 présente les points saillants des résultats du sondage, par région et pour diverses périodes et hypothèses. Le pourcentage moyen de modification de la productivité représente l'importance relative des changements, tandis que les signes indiquent l'orientation du changement. Pour ce qui du passé, les baisses de productivité forestière attribuables au TADPA dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario sont estimées à environ 5 et 7 % respectivement pour les trois dernières décennies, et à 3 et 5 % respectivement pour la dernière décennie. Les évaluations pour l'ouest du Canada ne font état d'aucune modification significative de la productivité forestière attribuable au TADPA pendant ces deux périodes.

Selon l'hypothèse d'une augmentation, du maintien ou d'une diminution des niveaux de TADPA, l'évaluation des modifications de la productivité forestière varie pour chaque région. Si les niveaux de TADPA continuent à augmenter dans l'avenir, on prévoit une baisse de productivité dans toutes les régions du pays. Dans la région de l'Atlantique et dans celle du Québec et de l'Ontario,

Tableau 20. Estimation de pourcentage de modification de la productivité forestière passée et future attribuable au TADPA, selon différentes hypothèses de pollution

Hypothèse	*Période*	*Atlantique*	*Québec/Ontario*	*Prairies/T.N.-O.*	*C.-B./Yukon*
Évaluation passée	1954-1984	–4,51*	–6,73*	+0,59	–0,05
Évaluation passée	1974-1984	–3,45*	–5,02*	+0,51	–0,05
Augmentation des niveaux de pollution	1984-1994	–4,50*	–7,41*	–0,78*	–0,86*
Augmentation des niveaux de pollution	1984-2014	–8,35*	–11,53*	–1,63*	–2,30*
Maintien des niveaux de pollution	1984-1994	–3,19*	–5,26*	–0,47*	–0,66*
Maintien des niveaux de pollution	1984-2014	–6,09*	–8,73*	–0,93*	–1,64*
Diminution des niveaux de pollution	1984-1994	+0,53	+0,48	–0,14	–0,11
Diminution des niveaux de pollution	1984-2014	+1,20	+1,68	–0,16	–0,07

* Diffère significativement de zéro au niveau de confiance de 95 %.

Sources: Tableaux 7, 14, 17 et 19.

les baisses seraient de l'ordre de 5 et 7 % respectivement au cours de la prochaine décennie et de 8 et 12 % respectivement au cours des trois prochaines décennies. Dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest et dans celle de la Colombie-Britannique et du Yukon, les baisses évaluées à moins de 1 % au cours de la prochaine décennie sont faibles, mais néanmoins significatives, de même que les baisses de 1 à 2 % prévues au cours des trois prochaines décennies, qui sont aussi significatives, même si elles sont faibles (tableau 20).

Si l'on prend des mesures afin de s'assurer que les niveaux actuels de TADPA demeurent constants, au lieu d'augmenter, on ne prévoit que de faibles baisses de la productivité forestière dans l'ouest du Canada. Cependant, des baisses de productivité importantes se produiraient tout de même dans l'est du Canada, bien que leur importance serait réduite de près du tiers. Les baisses dans les régions de l'Atlantique et du Québec et de l'Ontario seraient de l'ordre de 3 et 5 % respectivement au cours de la prochaine décennie et de 6 et 9 % au cours des trois prochaines décennies. Ainsi, le maintien du TADPA aux niveaux actuels n'éliminerait pas la baisse de productivité forestière au Canada. Cependant, si les niveaux étaient réduits de 50 % au cours de la prochaine décennie et demeuraient constants par la suite, on ne prévoit pas de baisses dans l'est du Canada (tableau 20). De fait, selon cette hypothèse, aucune modification de la productivité n'est prévue dans quelque région du Canada.

Selon l'opinion de l'ensemble des scientifiques consultés, la diminution de la productivité forestière attribuable au TADPA a déjà commencé dans l'est du Canada. En outre, ces experts sont d'avis qu'en l'absence de mesures de réduction des augmentations de pollution ces baisses se poursuivront dans l'est du Canada et s'étendront à un moment ou à un autre à l'Ouest. À peu près les trois quarts de cette baisse se produirait sous forme de réduction de croissance et le reste sous forme de mortalité d'arbres. Bien que des recherches supplémentaires soient nécessaires pour vérifier l'incidence de cette baisse sur les revenus et l'emploi dans l'industrie forestière, ses conséquences pourraient être dangereuses. Des mesures publiques qui ne viseraient qu'à éviter l'augmentation du niveau de pollution seraient impuissantes à protéger les ressources forestières. Selon cette hypothèse, on estime qu'il y aurait tout de même des baisses significatives de la productivité forestière dans toutes les régions du pays. Seules des mesures qui déboucheraient sur une baisse substantielle de 50 % des niveaux actuels de pollution amènent les experts à envisager un maintien de la productivité dans toutes les régions du Canada.

Annexe A

Participants

Dr P.A. Addison, *Service canadien des forêts*
Dr P.A. Arp, *Université du Nouveau-Brunswick*
Dr P. Barclay, *Lakehead University*
Dr F.H. Borman, *Yale University*
Dr T. Brydges, *Ministère ontarien de l'Environnement*
Dr L.W. Carlson, *Service canadien des forêts*
Dr L. Carrier, *Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec*
Dr E.B. Cowling, *North Carolina State University*
Dr C.S. Cronan, *University of Maine*
Dr D.C. Fayle, *Ontario Tree Improvement and Forest Biomass Institute*
Dr K.L. Fischer, *Service canadien de la faune*
Dr A. Fortin, *Université Laval*
Dr N.W. Foster, *Service canadien des forêts*
Dr A.G. Gordon, *Ontario Tree Improvement and Forest Biomass Institute*
Dr G.D. Hogan, *Service canadien des forêts*
Dr T.C. Hutchinson, *University of Toronto*
Dr J.S. Jacobson, *Cornell University*
Dr D.W. Johnson, *Laboratoire national d'Oak Ridge*
Dr H.H. Krause, *Université du Nouveau-Brunswick*
Dr A.H. Legge, *University of Calgary*
Dr S.N. Linzon, *Ministère ontarien de l'Environnement*
Dr W.W. McFee, *Purdue University*
Dr W.D. McIlveen, *Ministère ontarien de l'Environnement*
Dr S.B. McLaughlin, *Laboratoire national d'Oak Ridge*
Dr M.K. Mahendrappa, *Service canadien des forêts*
Dr D.G. Maynard, *Service canadien des forêts*
Dr I.K. Morrison, *Service canadien des forêts*
Dr R.E. Munn, *University of Toronto*
Dr K.J. Puckett, *Service de l'environnement atmosphérique*
Dr D.J. Raynal, *State University of New York, Syracuse*
Dr P.J. Rennie, *Service canadien des forêts*
Dr G. Robitaille, *Service canadien des forêts*
Dr H.S. Sandhu, *Ministère albertain de l'Environnement*
Dr D.S. Shriner, *Laboratoire national d'Oak Ridge*
Dr S.S. Sidhu, *Service canadien des forêts*
Dr W.H. Smith, *Yale University*
Dr G.W. Tomlinson, *Domtar Inc.*
Dr D.M. Whelpdale, *Service de l'environnement atmosphérique*
Dr A. Wiebe, *Service de l'environnement atmosphérique*

Annexe B

Tableaux

Tableau B1. Probabilités* que la productivité forestière actuelle ait été modifée par les niveaux récents de TADPA

	Atlantique			
Processus	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants** :	2,69	0,97	26	5 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,21	1,06	24	5 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	2,50	0,98	24	5 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,08	1,00	25	5 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	2,72	1,06	25	5 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,16	0,99	25	5 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,91	1,08	23	5 à 1
Reduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,00	1,00	23	5 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	2,72	1,21	25	5 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants** :	2,88	1,24	26	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	3,28	1,24	25	5 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation†	2,13	0,87	23	4 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,88	0,80	24	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants** :	1,42	0,58	26	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,42	0,58	24	3 à 1
Fertilisation à l'azote	2,08	0,83	24	3 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,74	0,81	23	4 à 1

* Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B1. (suite)

Processus	Québec/Ontario			
	*Moyenne**	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants** :	3,14	0,89	28	5 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,31	1,12	26	5 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	2,81	0,94	26	5 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,33	1,04	27	5 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	3,04	1,06	27	5 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,37	1,04	27	5 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	2,20	1,26	25	5 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,27	1,08	26	5 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	3,15	1,03	27	5 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants** :	2,50	1,00	28	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	3,93	1,17	27	5 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation†	1,92	0,81	25	4 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,69	0,74	26	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants** :	1,61	0,69	28	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,46	0,58	26	3 à 1
Fertilisation à l'azote	2,44	0,97	27	4 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,88	0,93	25	4 à 1

* Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B1. (suite)

Processus	Prairies/Territoires du Nord-Ouest			
	*Moyenne**	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants** :	1,21	0,51	24	3 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	1,00	0,00	24	1 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	1,04	0,20	24	2 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	1,29	0,55	24	3 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	1,13	0,34	24	2 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	1,04	0,20	24	2 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,00	0,00	23	1 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	1,00	0,00	24	1 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	1,21	0,59	24	3 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants** :	4,32	1,35	25	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	4,88	0,45	24	5 à 3
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation†	1,74	1,14	23	5 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,39	0,63	23	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière causée par les processus suivants** :	1,42	0,83	24	4 à 1
Fertilisation au soufre	1,68	0,89	22	4 à 1
Fertilisation à l'azote	1,82	0,91	22	3 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,73	0,88	22	4 à 1

* Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B1. (suite)

Processus	Colombie-Britannique/Yukon			
	*Moyenne**	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants** :	1,25	0,53	24	3 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	1,04	0,20	24	2 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	1,08	0,28	24	2 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	1,38	0,58	24	3 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	1,13	0,45	24	3 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	1,00	0,00	24	1 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,04	0,21	23	2 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	1,00	0,00	24	1 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	1,33	0,64	24	3 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière, causé par les processus suivants** :	4,29	1,33	24	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	4,83	0,49	23	5 à 3
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation†	1,70	1,02	23	5 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,48	0,67	23	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière, causée par les processus suivants** :	1,42	0,83	24	4 à 1
Fertilisation au soufre	1,82	1,05	22	5 à 1
Fertilisation à l'azote	1,91	0,87	22	3 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,82	0,96	22	4 à 1

* Échelle: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B2. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région de l'Atlantique, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 1,80	7,71	16	–15 à + 20
SO_x	+ 3,63	6,47	14	–5 à + 20
NO_x	+ 9,79	8,92	16	0 à + 40
O_3	+ 10,02	8,80	16	0 à + 40
Métaux lourds	+ 3,99	5,69	15	–10 à + 15

	1984–2014			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 10,96	18,94	17	0 à + 80
SO_x	+ 13,50	19,65	15	0 à + 80
NO_x	+ 19,10	21,89	17	0 à + 100
O_3	+ 19,12	21,86	17	0 à + 100
Métaux lourds	+ 9,93	8,28	16	0 à + 25

Tableau B3. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région du Québec et de l'Ontario, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 2,88	8,26	17	–20 à + 20
SO_x	+ 5,36	6,02	15	–5 à + 20
NO_x	+ 10,66	9,00	17	0 à + 40
O_3	+ 11,32	8,78	17	0 à + 40
Métaux lourds	+ 6,01	4,40	15	0 à + 15

	1984–2014			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 12,16	18,34	18	0 à + 80
SO_x	+ 14,97	18,93	16	0 à + 80
NO_x	+ 24,59	34,78	18	0 à + 160
O_3	+ 24,19	34,62	18	0 à + 160
Métaux lourds	+ 12,42	9,41	17	0 à + 40

Tableau B4. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 3,89	3,07	17	0 à + 10
SO_x	+ 4,10	3,23	16	0 à + 10
NO_x	+ 5,23	4,59	17	0 à + 20
O_3	+ 5,08	4,59	17	0 à + 20
Métaux lourds	+ 4,06	3,13	17	0 à + 10

	1984–2014			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 10,52	13,28	18	0 à + 60
SO_x	+ 11,36	13,77	17	0 à + 60
NO_x	+ 12,18	13,46	18	0 à + 60
O_3	+ 11,22	13,27	18	0 à + 60
Métaux lourds	+ 10,25	13,11	18	0 à + 60

Tableau B5. Estimation du pourcentage de modification des niveaux de polluants dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 3,69	4,81	16	0 à + 20
SO_x	+ 3,69	4,95	15	0 à + 20
NO_x	+ 7,28	9,41	16	0 à + 40
O_3	+ 7,43	9,32	16	0 à + 40
Métaux lourds	+ 4,01	4,73	16	0 à + 20

	1984–2014			
Polluant	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
SO_2	+ 11,28	16,81	16	0 à + 80
SO_x	+ 11,83	19,44	15	0 à + 80
NO_x	+ 15,46	23,32	16	0 à + 100
O_3	+ 15,41	23,33	16	0 à + 100
Métaux lourds	+ 10,16	14,06	16	0 à + 60

Tableau B6. Probabilités* de modification de la productivité forestière dans la région de l'Atlantique avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984-1994 et 1984–2014**

	1984–1994				1984–2014			
Processus	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	3,12	0,88	25	5 à 2	3,64	0,86	25	5 à 2
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,35	1,09	20	5 à 1	2,58	1,12	19	5 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	2,75	0,91	20	5 à 1	3,16	1,07	19	5 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,35	0,88	20	5 à 2	3,74	0,93	19	5 à 2
Mobilisation des métaux toxiques	2,95	1,00	20	5 à 1	3,26	1,10	19	5 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,55	1,15	20	5 à 1	2,89	1,24	19	5 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	2,15	1,14	20	5 à 1	2,58	1,22	19	5 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,58	1,02	19	5 à 1	2,84	1,07	19	5 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	2,85	0,99	20	5 à 1	3,15	1,04	20	5 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière causé par les processus suivants†:	1,88	0,91	26	5 à 1	1,85	0,88	26	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	2,11	1,20	19	4 à 1	1,84	1,01	19	4 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation††	1,89	0,88	19	4 à 1	1,89	0,88	19	4 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,63	0,60	19	3 à 1	1,68	0,67	19	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,16	0,47	25	3 à 1	1,12	0,44	25	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,37	0,96	19	5 à 1	1,42	1,02	19	5 à 1
Fertilisation à l'azote	1,58	0,77	19	3 à 1	1,68	0,95	19	4 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,42	0,61	19	3 à 1	1,42	0,61	19	3 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée dans l'avenir.

† La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

†† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B7. Probabilités* de modification de la productivité forestière dans la région du Québec et de l'Ontario avec une accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994				1984–2014			
Processus	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	3,54	0,81	26	5 à 2	3,92	0,84	26	5 à 2
Réduction de la germination et de la croissance des semis	2,50	1,06	22	5 à 1	2,62	1,12	21	5 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	3,05	1,00	22	5 à 1	3,48	1,12	21	5 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	3,64	0,85	22	5 à 2	4,05	0,97	21	5 à 2
Mobilisation des métaux toxiques	3,18	0,96	22	5 à 1	3,62	1,12	21	5 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	2,95	1,13	22	5 à 1	3,43	1,29	21	5 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	2,45	1,30	22	5 à 1	2,81	1,29	21	5 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	2,62	1,02	21	5 à 1	3,00	1,18	21	5 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	3,18	1,05	22	5 à 1	3,77	1,02	22	5 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière causé par les processus suivants†:	1,70	0,91	27	5 à 1	1,63	0,93	27	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	1,86	1,06	21	4 à 1	1,57	0,93	21	4 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation††	1,86	0,85	21	4 à 1	1,86	0,85	21	4 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,62	0,59	21	3 à 1	1,76	0,77	21	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,15	0,46	26	3 à 1	1,12	0,43	26	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,38	0,92	21	5 à 1	1,38	0,92	21	5 à 1
Fertilisation à l'azote	1,62	0,80	21	4 à 1	1,76	1,04	21	5 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,48	0,68	21	3 à 1	1,48	0,68	21	3 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée dans l'avenir.

† La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

†† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B8. Probabilités* de modification de la productivité forestière dans la région des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994				1984–2014			
Processus	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,38	0,85	26	5 à 1	1,65	0,98	26	5 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	1,22	0,43	18	2 à 1	1,39	0,50	18	2 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	1,37	0,60	19	3 à 1	1,58	0,69	19	3 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	1,63	0,68	19	3 à 1	1,84	0,83	19	4 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	1,47	0,51	19	2 à 1	1,68	0,67	19	3 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	1,22	0,43	18	2 à 1	1,50	0,51	18	2 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,18	0,39	17	2 à 1	1,41	0,62	17	3 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	1,17	0,38	18	2 à 1	1,39	0,61	18	3 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	1,50	0,69	20	3 à 1	1,95	1,10	20	5 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière causé par les processus suivants†:	3,52	1,40	27	5 à 1	3,44	1,37	27	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	3,40	1,64	20	5 à 1	3,35	1,63	20	5 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation††	1,63	0,96	19	4 à 1	1,68	0,95	19	4 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,58	0,77	19	3 à 1	1,58	0,77	19	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,31	0,79	26	4 à 1	1,27	0,67	26	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,63	1,12	19	5 à 1	1,68	1,20	19	5 à 1
Fertilisation à l'azote	1,63	0,90	19	3 à 1	1,68	1,00	19	4 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,53	0,84	19	3 à 1	1,58	0,96	19	4 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée dans l'avenir.

† La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

†† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B9. Probabilités* de modification de la productivité forestière dans la région de la Colombie-Britannique et du Yukon avec un accroissement des niveaux de TADPA, en l'absence de changement de réglementation, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994				1984–2014			
Processus	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*	*Moy.*	*Éc.-type*	*Nbre de répondants*	*Échelle*
1. **Diminution** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,48	0,92	25	5 à 1	1,80	0,96	25	5 à 1
Réduction de la germination et de la croissance des semis	1,33	0,49	18	2 à 1	1,50	0,62	18	3 à 1
Augmentation de la sensibilité des arbres aux pathogènes	1,44	0,62	18	3 à 1	1,67	0,84	18	3 à 1
Accélération du lessivage des substances nutritives des sols et du feuillage	1,56	0,70	18	3 à 1	1,78	0,88	18	4 à 1
Mobilisation des métaux toxiques	1,44	0,62	18	3 à 1	1,56	0,86	18	4 à 1
Réduction de la biomasse foliaire, puis de la production de bois	1,39	0,61	18	3 à 1	1,61	0,78	18	4 à 1
Perte d'essences vulnérables (par ex. pruche, épinette blanche, érable à sucre)	1,22	0,43	18	2 à 1	1,39	0,50	18	2 à 1
Réduction de la qualité du bois (par l'invasion de ravageurs)	1,33	0,49	18	2 à 1	1,53	0,61	19	3 à 1
Sensibilité accrue à la sécheresse et à d'autres tensions climatiques	1,37	0,50	19	2 à 1	1,68	0,67	19	3 à 1
2. **Maintien** de la productivité forestière causé par les processus suivants†:	3,42	1,39	26	5 à 1	3,31	1,38	26	5 à 1
Niveaux de polluants trop faibles pour avoir un effet	3,42	1,64	19	5 à 1	3,37	1,64	19	5 à 1
Dans les forêts mixtes affectées par le TADPA, productivité équilibrée par compensation††	1,61	1,04	18	5 à 1	1,67	1,08	18	5 à 1
Remplacement d'essences vulnérables par des espèces plus tolérantes	1,44	0,70	18	3 à 1	1,44	0,70	18	3 à 1
3. **Augmentation** de la productivité forestière causée par les processus suivants†:	1,28	0,74	25	4 à 1	1,28	0,61	25	3 à 1
Fertilisation au soufre	1,28	0,57	18	3 à 1	1,28	0,57	18	3 à 1
Fertilisation à l'azote	1,50	0,86	18	3 à 1	1,56	0,86	18	3 à 1
Fertilisation au soufre et à l'azote (interaction)	1,44	0,78	18	3 à 1	1,44	0,78	18	3 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** On a demandé aux répondants d'assumer les hypothèses suivantes: 1) aucun changement substantiel de la réglementation sur la lutte contre la pollution, 2) aucun accord international limitant la pollution transfrontalière et 3) une croissance économique et démographique modérée dans l'avenir.

† La première ligne de chaque résultat possible exprime la probabilité de diminution, de maintien ou d'augmentation (voir tableau 11). Les lignes suivantes expriment les causes spécifiques.

†† Le transport à distance des polluants atmosphériques dans une forêt mixte entraîne une baisse de productivité chez l'essence A, compensée par une augmentation de la productivité chez l'essence B, soit une absence de changement net.

Tableau B10. Probabilités* de diminution de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	3,08	0,93	26	5 à 1
Québec/Ontario	3,29	0,98	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,41	0,89	27	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,48	0,94	27	5 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	3,54	1,07	26	5 à 1
Québec/Ontario	3,61	1,10	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,59	0,93	27	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,70	1,03	27	5 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

Tableau B11. Probabilités* de maintien de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,15	0,97	26	5 à 1
Québec/Ontario	1,96	0,92	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	3,69	1,38	26	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	3,62	1,39	26	5 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,00	1,00	25	5 à 1
Québec/Ontario	1,81	0,96	27	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	3,54	1,45	26	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	3,46	1,48	26	5 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

Tableau B12. Probabilités* d'augmentation de la productivité forestière avec des niveaux constants de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	1,15	0,46	26	3 à 1
Québec/Ontario	1,14	0,45	28	3 à 1
Prairies/T.N.-O	1,27	0,60	26	3 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,31	0,62	26	3 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	1,12	0,43	26	3 à 1
Québec/Ontario	1,11	0,42	28	3 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,27	0,72	26	4 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,27	0,67	26	4 à 1

*Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

Tableau B13. Probabilités* de diminution de la productivité forestière avec une diminution du TADPA, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	1,77	0,95	26	5 à 1
Québec/Ontario	1,93	0,94	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,23	0,59	26	3 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,23	0,59	26	3 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	1,62	0,94	26	5 à 1
Québec/Ontario	1,75	0,89	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,27	0,60	26	3 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,27	0,53	26	3 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable

** La modification de la productivité est basée sur l'hypothèse d'une réduction des niveaux de pollution de 50 % par rapport aux niveaux actuels d'ici 1994 et du maintien indéfini de ce niveau réduit.

Tableau B14. Probabilités* de maintien de la productivité forestière avec une diminution de TADPA, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,42	0,95	26	5 à 1
Québec/Ontario	2,43	0,88	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	3,60	1,29	25	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	3,60	1,32	25	5 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,50	1,03	26	5 à 1
Québec/Ontario	2,39	0,99	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	3,64	1,29	25	5 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	3,60	1,29	25	5 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable
** La modification de la productivité est basée sur l'hypothèse d'une réduction des niveaux de pollution de 50 % par rapport aux niveaux actuels d'ici 1994 et du maintien indéfini de ce niveau réduit.

Tableau B15. Probabilités* d'augmentation de la productivité forestière avec une diminution du TADPA, 1984–1994 et 1984–2014**

	1984–1994			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,04	1,00	26	4 à 1
Québec/Ontario	2,14	0,85	28	4 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,26	0,54	23	3 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,17	0,38	24	2 à 1

	1984–2014			
Région	*Moyenne*	*Écart-type*	*Nombre de répondants*	*Échelle*
Atlantique	2,27	1,04	26	5 à 1
Québec/Ontario	2,43	1,03	28	5 à 1
Prairies/T.N.-O.	1,26	0,45	23	2 à 1
Colombie-Britannique/ Yukon	1,21	0,41	24	2 à 1

* Échelle des probabilités: très probable 5 4 3 2 1 très peu probable
** La modification de la productivité est basée sur l'hypothèse d'une réduction des niveaux de pollution de 50 % par rapport aux niveaux actuels d'ici 1994 et du maintien indéfini de ce niveau réduit.

Annexe C

Choix de commentaires des participants

Généralités

Pour faciliter la présentation du corps du texte, nous avons présenté principalement une compilation des résultats du sondage. Cependant, cette compilation rassemble les opinions très diverses des répondants au sujet des répercussions du TADPA sur les forêts. Cette diversité résulte tantôt d'une interprétation différente de la même information, tantôt d'une base d'information ou d'une perspective légèrement différentes.

Tout au long de l'enquête, les répondants étaient encouragés à donner les raisons de leur position. Ainsi, de nombreux répondants ont donné des commentaires longs et détaillés. Pour bien expliquer la nature du débat sur différents sujets, nous présentons quelques-uns de ces commentaires dans la présente annexe. Dans la mesure du possible, il s'agit de citations du texte des répondants.

Effet sur la productivité forestière

Les commentaires justifiant une forte probabilité de baisse de la productivité forestière sont basés sur des données concernant l'Allemagne, les États-Unis et le Québec:

«Les preuves sont nombreuses en Allemagne, où 50 % des forêts sont maintenant touchées par le syndrome (...) (nouveau type de mortalité des forêts), que les dépôts acides en sont la cause principale (...). Ce même syndrome est maintenant observé en Amérique du Nord. Dans une étude préparée pour l'échange scientifique allemand-américain de 1984 sur le dépérissement des forêts, Johnson, McLaughlin, Bruck et Siccama ont fait état d'une réduction moyenne de la croissance d'environ 25 % au cours des deux dernières décennies, chez l'épinette et le pin, dans une région allant du Maine au Tennessee. Étant donné l'étendue de cette zone, tous les facteurs connus antérieurement, tels que la sécheresse et les insectes, peuvent être éliminés comme causes principales.»

«Bien qu'aucune étude globale n'ait été faite au Canada, les arbres des forêts de l'est du Canada montrent des symptômes semblables et Lise Robitaille du gouvernement du Québec a noté une réduction de 39 % sur cinq ans de la croissance de l'érable dans la Beauce, région où l'on observe un grave dépérissement de cette essence.»

La validité de cette interprétation, cependant, a été mise en doute par un certain nombre de répondants parce que les niveaux de pollution au Canada sont inférieurs et qu'il y aurait d'autres causes possibles du déclin des forêts:

«...les dépôts acides, pour avoir une influence marquée sur la croissance forestière par le processus des sols (...) exigent un apport d'un niveau et d'une durée beaucoup plus élevés que ce qu'on relève dans la plupart des régions du Canada. La possibilité que des polluants secondaires affectent les forêts du Canada semble aussi moins évidente qu'en Europe centrale et aux États-Unis, puisque la charge de polluants dans les provinces touchées par le TADPA est inférieure à celle de ces pays.»

«...je serais très prudent quant à l'extrapolation des réductions de croissance en Allemagne et dans l'est des États-Unis aux forêts canadiennes parce que a) les dépôts secs de SO_2, de NO_x et d'ozone sont probablement inférieurs dans l'est du Canada, b) les mécanismes qui entraînent les réductions de croissance sont inconnus. Bien qu'une partie de la diminution de l'érable au Québec soit inexpliquée, certains déprédateurs forestiers (la livrée, etc.) seraient responsables d'une partie des dommages...»

«La diminution de croissance en diamètre de 39 % depuis cinq ans des érablières (au Québec) a été établie en rapport des vingt dernières années (...) que cette diminution de croissance est aussi due en grande partie à l'épidémie de la livrée des forêts et à des variations climatiques, et qu'il n'y a à ce jour aucun lien d'établi entre cette diminution de croissance et les précipitations acides ou les polluants atmosphériques...»

En outre, certains ont mis en doute la possibilité d'appliquer au contexte canadien les conclusions provenant de l'Allemagne:

«...les modes de pollution, les caractéristiques géographiques et la croissance forestière aux États-Unis et en Europe centrale diffèrent des conditions canadiennes, ce qui empêche d'appliquer directement le résultat des recherches effectuées dans ces pays.»

Par ailleurs, certains répondants ont indiqué que les autres «causes» de la baisse de la productivité forestière pouvaient elles-mêmes être reliées à la pollution atmosphérique:

«Une réduction chronique et composée de la vigueur attribuable à la pollution atmosphérique pourrait intensifier toute une gamme d'effets secondaires tels qu'une résistance amoindrie à la sécheresse, aux infestations par les insectes et aux maladies. En outre, les effets de la pollution pourraient être encore plus grands en empêchant l'écosystème forestier de récupérer de situations périodiques naturelles, telles que la sécheresse et les infestations...»

"...tandis que la pollution est encore considérée comme un facteur causal (en Europe) de la baisse forestière, le mécanisme est peut-être plus complexe qu'on ne l'avait pensé. Les interactions du stress dû à la pollution et d'autres facteurs entraînent beaucoup plus de «fonctions dommageables» qu'on ne l'avait d'abord cru...»

En ce qui a trait à l'augmentation possible de la productivité forestière attribuable au TADPA, il y avait un certain consensus chez les répondants quant à la faible probabilité de cette situation, tout au moins à long terme:

«Bien que les carences d'azote aient été observées dans huit forêts de l'est du Canada, un faible apport supplémentaire annuel d'azote (moins de 5 kg/ha) a peu de chances de constituer un complément valable d'azote pour les forêts... Les besoins de soufre de la végétation sont beaucoup plus faibles que l'azote; la fertilization au soufre a donc aussi peu de chances d'accroître la productivité forestière.»

«Les données tirées des études de sources ponctuelles (Gordon et Gorham, 1963) n'indiquent aucune augmentation de la grosseur des arbres entre les dommages «modérés» et «peu évidents» et aucune augmentation dans la catégorie «peu évidents» par rapport à toute forêt où les caractéristiques de sol et de peuplement seraient semblables.»

«L'expérience en Allemagne et maintenant dans le sud de la Suède montre que les gains initiaux de la fertilisation à l'azote sont annulés par le lessivage du calcium et du magnésium des sols.»

«Des travaux récents en Alberta ont fait état tant d'une augmentation que d'une diminution de la productivité forestière... Toute augmentation de la productivité (...) est de courte durée.»

Niveaux de pollution futurs

Il y avait une grande différence d'opinions chez les répondants au sujet des niveaux de pollution futurs en l'absence de modification de la réglementation. Un répondant était d'avis que tous les niveaux de pollution prévus étaient largement sous-estimés et supposaient que «l'industrie elle-même déciderait de réduire les émissions de polluants». Par ailleurs, un répondant a remis en question les augmentations prévues relativement grandes de NO_x et de O_3, citant comme raisons «le coût (élevé) des produits pétroliers» et la probabilité de diminution du revenu moyen disponible. Un autre répondant était d'avis que les émissions de NO_x «n'augmenteraient pas aussi vite (que prévu) à cause de la saturation du marché de l'automobile».

Un répondant a interprété les projections moyennes pour l'ouest du Canada comme «une possibilité d'augmentation de l'activité industrielle» à laquelle il ne croit pas. Cependant, un autre a fait remarquer que cette augmentation de l'activité industrielle ne sera pas nécessairement dans l'ouest du Canada. Une augmentation de l'activité industrielle en Asie, au Mexique, etc. «contribuerait de façon importante et immuable à accroître la charge atmosphérique dans le monde entier. Ainsi, les Prairies, et une partie des montagnes Rocheuses recevront leur part».

Enfin, plusieurs répondants ont fait remarquer que les projections moyennes des émissions de soufre étaient trop faibles. Compte tenu de l'engagement des États-Unis à l'égard de l'autonomie énergétique et de l'avantage relatif sur le plan des coûts, ces répondants s'attendent à une utilisation beaucoup plus grande du charbon pour le production d'énergie dans l'avenir.

Moment des répercussions

Selon les résultats globaux des opinions, les niveaux actuels ou accrus de pollution auront des effets sur les forêts au cours de la prochaine ou des deux prochaines décennies. Ainsi, une réduction de 50 % des niveaux de pollution au cours des 10 prochaines années est considérée, dans l'ensemble, comme un moyen d'empêcher ces effets. Cependant, deux répondants ont fait remarquer la longueur du laps de temps entre les niveaux de pollution et les effets sur les forêts. Un répondant se demandait même si les effets se feraient sentir au cours d'une période prochaine, tandis que l'autre se demandait si une réduction des niveaux de pollution aurait des avantages à court terme:

«Une période de 20 ans est encore trop courte pour que les effets des dépôts acides se manifestent par un changement quelconque de productivité. D'après certains scientifiques (Ulrich), le lessivage de substances nutritives du feuillage ne peut en soi amener une diminution de la productivité. Si les racines absorbent des quantités suffisantes de substances nutritives pour remplacer celles qui sont lessivées, les arbres n'en souffriront pas et ne manifesteront aucun symptôme. Ainsi, si le niveau actuel de pollution se poursuit, il faudra peut-être plus de 100 ans pour que la modification du sol ait des effets sur la productivité.»

«Quand un écosystème a été modifié par une tension telle que la pollution atmosphérique, le changement se fait avec un certain momentum. Il est difficile de modifier l'orientation du changement d'un jour à l'autre. Il faudra de nombreuses années pour qu'un écosystème acide atteigne un nouvel équilibre. De façon réaliste, il faudra attendre de nombreuses années, après une diminution de 50 % de la pollution atmosphérique, avant d'en observer les résultats.»

Une vue plus pessimiste a été exprimée par un autre répondant qui faisait observer que toute réduction inférieure à 100 % serait insuffisante:

«Réduire le problème actuel de pollution de 50 % ne supprime pas le problème. Ça ne fait que repousser l'échéance.»